

Proyecto Fin de Grado

Ingeniería de Civil

Análisis, levantamiento, proceso constructivo,
modelado y recreación virtual del Puente del Cristo
de la Expiración

Autor: Álvaro Aranda López

Tutor: Manuel Morato Moreno

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería Civil

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración

Autor:

Álvaro Aranda López

Tutor:

Manuel Morato Moreno

Profesor titular

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Proyecto Fin de Grado: Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración

Autor: Álvaro Aranda López

Tutor: Manuel Morato Moreno

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

A mis padres.

A mi hermana.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Agradecimientos

Dedicado a aquellos familiares, amigos y compañeros de clase que durante mis años académicos me han animado y ayudado en momentos en los que lo necesité, estando a mi lado o a miles de kilómetros.

Muchas gracias.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Resumen

A continuación se aborda un estudio sobre el Puente del Cristo de la Expiración. El documento del estudio comprende inicialmente un análisis sobre el puente en el que se abordan temas como el proceso de su diseño y su contexto histórico, el proceso de construcción del mismo y su estado actual. Posteriormente comprende un proceso de modelado finalizado en una recreación virtual mediante el programa AutoCad para obtener una reproducción del puente lo más semejante al existente.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Memoria

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Índice

Agradecimientos	i
Resumen.....	iii
Memoria	v
1 Introducción.	1
1.1 Contexto del proyecto.	1
1.2 Evolución de la ciudad frente a los cambios en el Guadalquivir.	2
1.3 Necesidades de Sevilla y Expo del 92.	10
2 Puente Cristo de la Expiración.	16
2.1 Emplazamiento.....	16
2.2 Proyecto.....	17
2.2.1 Necesidad de servicios a cumplir.	18
2.2.2 Elección de diseño.....	18
2.2.3 Elección de material.	21
2.2.4 Influencias técnicas y precedentes ejemplares.....	23
2.2.5 Problemática de ejecución.....	25
2.2.6 Descripción General.	26
2.2.7 Características particulares.....	27
2.2.8 Datos técnicos.....	27
2.3 Construcción.	28
2.3.1 Condiciones iniciales.....	28
2.3.2 Criterios constructivos.....	29
2.3.3 Proceso constructivo.....	30
2.4 Actualidad.....	36
3 Proceso de diseño y modelado en Autocad.....	41
3.1 Búsqueda e identificación de información.	41
3.2 Representaciones en 2D.	41

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del
Cristo de la Expiración.

3.3	Construcción del modelo 3D.	44
3.3.1	Fase 1. Espacio en 3D.....	44
3.3.2	Fase 2. Figuras en 2D.	45
3.3.3	Fase 3. Creación de sólidos.	46
3.3.4	Fase 4. Elementos particulares.....	51
3.3.5	Fase 5. Renderizado.....	58
4	Conclusiones.	63
5	Índice de figuras y fotografías.....	65
6	Índice de tablas.	70
7	Lista de planos.	71
8	Bibliografía y fuentes consultadas.	72
	Planos.....	74

1 Introducción.

1.1 Contexto del proyecto.

Entrados en el siglo XIX, años previos a la ejecución del puente, Sevilla sufre una revolución en varios ámbitos, incluido el urbanístico, causantes de una expansión de la ciudad hacia su zona oeste. Este proceso de expansión conllevó una obra de desvío el río Guadalquivir hacia un nuevo cauce a la altura de la Puerta Real.

De esta manera la ciudad de Sevilla pasó a tener una zona conocida como el Tapón de Chapina, zona donde finalizaba la dársena que comenzaba al sur de la ciudad con la Esclusa. Tras dicho tapón se encontraban el río, las líneas de ferrocarril y la calle Torneo, por aquél entonces una calle estrecha y saturada de tráfico.

Aquél tapón había sido realizado con la finalidad de alejar las inundaciones de la ciudad de Sevilla. Con la nueva Corta el cauce del río Guadalquivir había sido desviado y se cumplía el objetivo principal de dominar las crecidas sobre la ciudad (ver Ilustración 1).



Ilustración 1. Vista aérea de la ciudad de Sevilla en 1956.

Años más tarde de la construcción del Tapón de Chapina, en 1963, Sevilla sufre una gran riada que sobrepasa la capacidad de contención generada con el desvío realizado por lo que surge de nuevo la idea de desvincular completamente el río de la ciudad.

Esta idea cobra importancia al pasar ciertos años, cuando Sevilla es elegida como ciudad para albergar la exposición universal llamada Expo'92. Las obras para su apertura modificarían por completo el panorama de la ciudad. Entre las obras más relevantes para la exposición se encontraban la ejecución del puente del Cristo de la Expiración y el desaterramiento del Tapón de Chapina.

Tras la ejecución del puente del Cristo de la Expiración, tanto el tapón de Chapina como sus construcciones más colindantes han desaparecido dando paso a la vista actual. Con el nuevo

puente Sevilla sufrió una compleja reordenación urbanística que cambió completamente su paisaje, el aprovechamiento de su nueva dársena de trece kilómetros y medio renovó por completo la apariencia de la ciudad.

1.2 Evolución de la ciudad frente a los cambios en el Guadalquivir.

Sevilla ha sido una ciudad objeto de cambios urbanísticos en muchas ocasiones durante su evolución histórica, la ciudad ha sufrido numerables modificaciones durante su historia. En concreto, la relación entre Sevilla y el río Guadalquivir ha sido muy peculiar, pues han convivido durante diferentes etapas cambiando sus fisionomías.

El río Guadalquivir es un río de grandes contrastes cuyas crecidas han llegado a ocasionar graves problemas de inundación en la ciudad de Sevilla (ver Ilustraciones 2 y 3). En estos casos, el cauce de avenidas tenía el poder de cubrir todo aquello que se encontrase en su valle, de aquí la problemática y las consecuentes modificaciones de sus fisionomías con el fin de controlar el cauce del río y evitar sus desbordes.



Ilustración 2. Vista de las calles de Sevilla ante las avenidas.



Ilustración 3. Vista de las calles de Sevilla cruzadas por embarcaciones ante las avenidas.

El deseo de dominar el río Guadalquivir a su paso por Sevilla estuvo, durante muchos años, presente en la población afectada por los problemas que suponía. Por lo tanto la mano del hombre pretendió, una vez más, poner orden en la naturaleza para hacer del río un lugar navegable y cuyas orillas repletas de cultivos fuesen conservadas ante las crecidas (ver Ilustración 4).

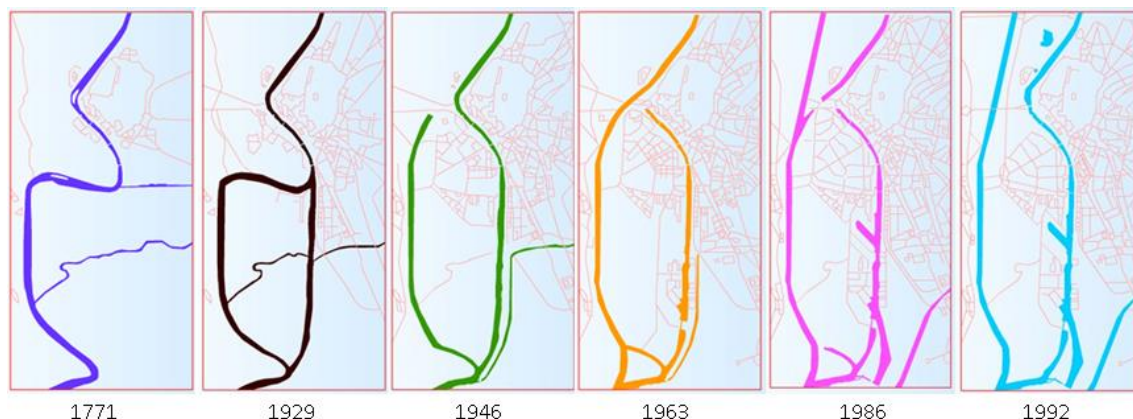


Ilustración 4. Evolución histórica de las Cortas por la zona de Chapina en Sevilla.¹

Las labores para doblegar al Guadalquivir siempre conllevaron una derrota para la ciudad la cual sufría continuas obras de ingeniería como encauzamientos y obras de saneamiento. Dichas obras de ingeniería suponían armas de doble filo pues se hacían realidad los casos más desfavorables posibles, las redes de saneamiento formadas por un conjunto de desagües y alcantarillas no eran capaces de evacuar los deshechos de la ciudad y pasaban a ser el camino fácil para las aguas que invadían la ciudad a través de cloacas que incluso pasaban por debajo de las murallas.

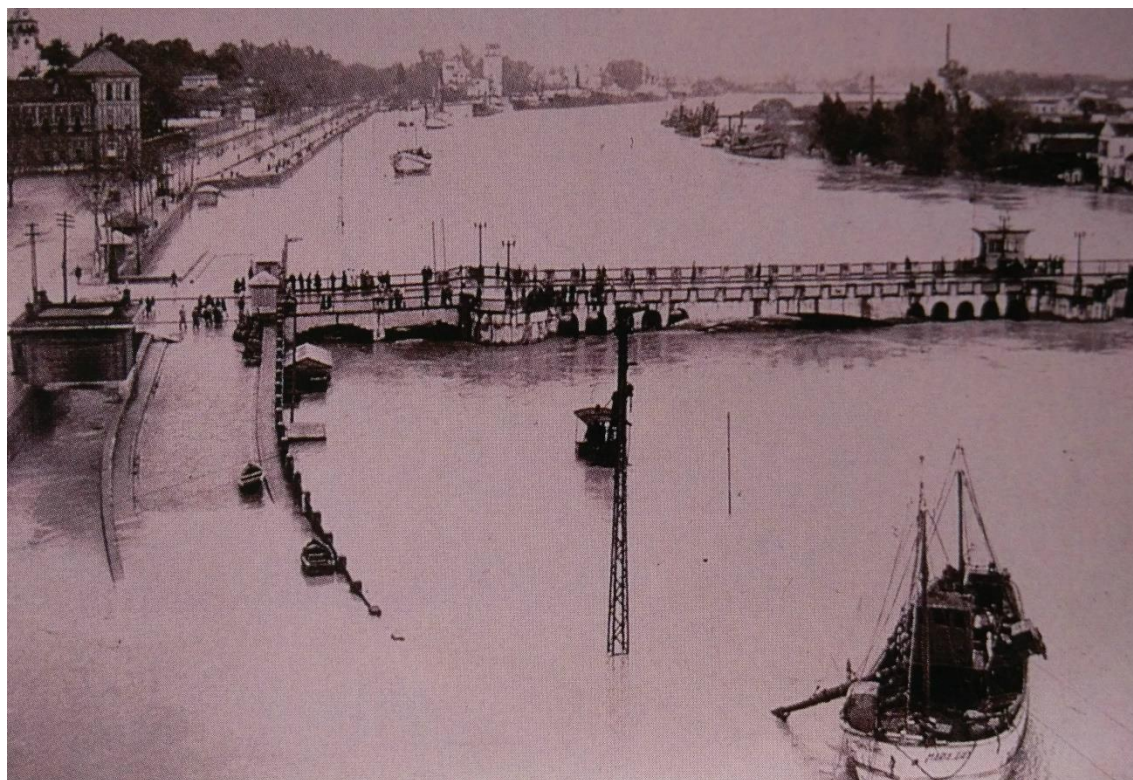


Ilustración 5. Vista superior del río Guadalquivir desbordado a su paso por Sevilla.

¹ Imagen obtenida desde: Sáseta, A. y Pérez, J. L., «Los puentes de Sevilla: Las "cortas" del Guadalquivir,» 20 de Diciembre de 2011. Disponible online en: <http://puentesdesevilla.blogspot.com.es/2012/01/las-cortas-del-guadalquivir.html> (consultado el 25 de Abril de 2018).

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Ante la voluntad de dominar el río ya respaldada resulta asombroso que la labor ingenieril no tuvo como solución ningún puente sobre un lecho blando afectado por las mareas y las riadas particulares de su situación.

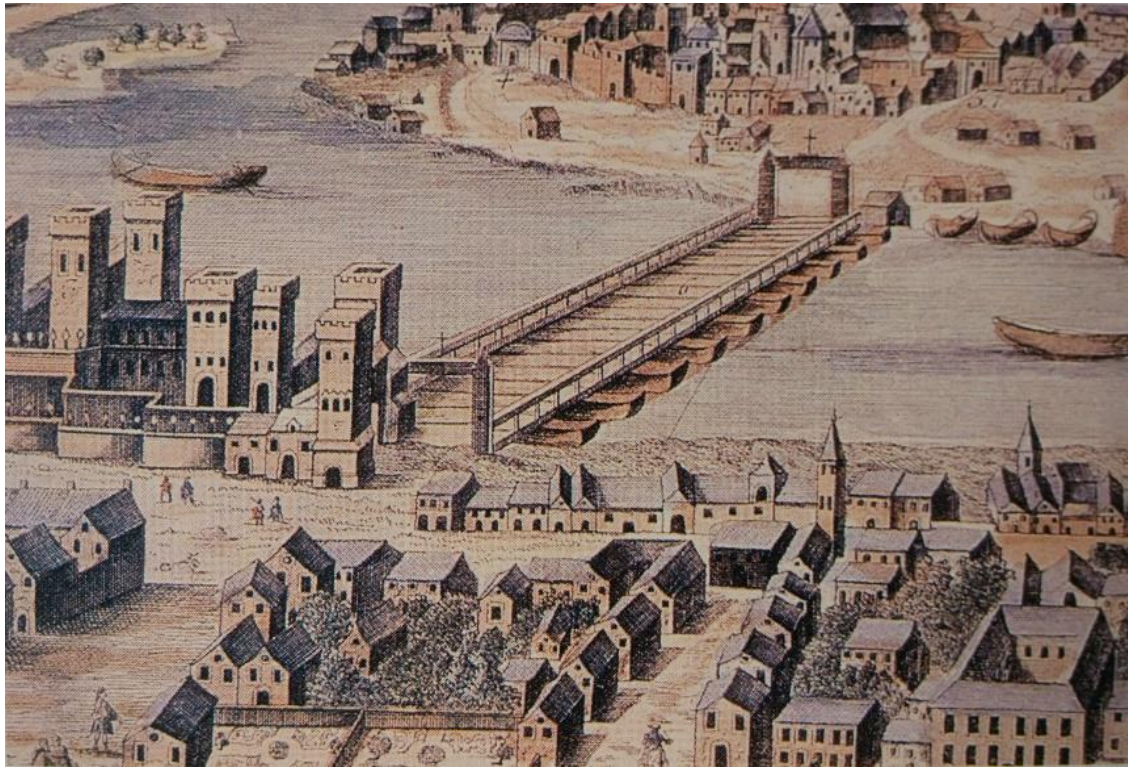


Ilustración 6. Representación del primer puente hecho por la unión de barcas.

El primer puente llegó gracias al Rey Ben Yusuf en el siglo XII², el puente resolvió el cruce del río Guadalquivir que sufría cambios de lugar y altura. Consistía en un conjunto de barcas cuyas uniones formaban un puente, el único puente en la ciudad de Sevilla durante setecientos años (ver Ilustraciones 6 y 7).

² AYESA, «III Premio Internacional Puente de Alcántara,» Sevilla, 1992. Consultado en Noviembre de 2017. Página 9.

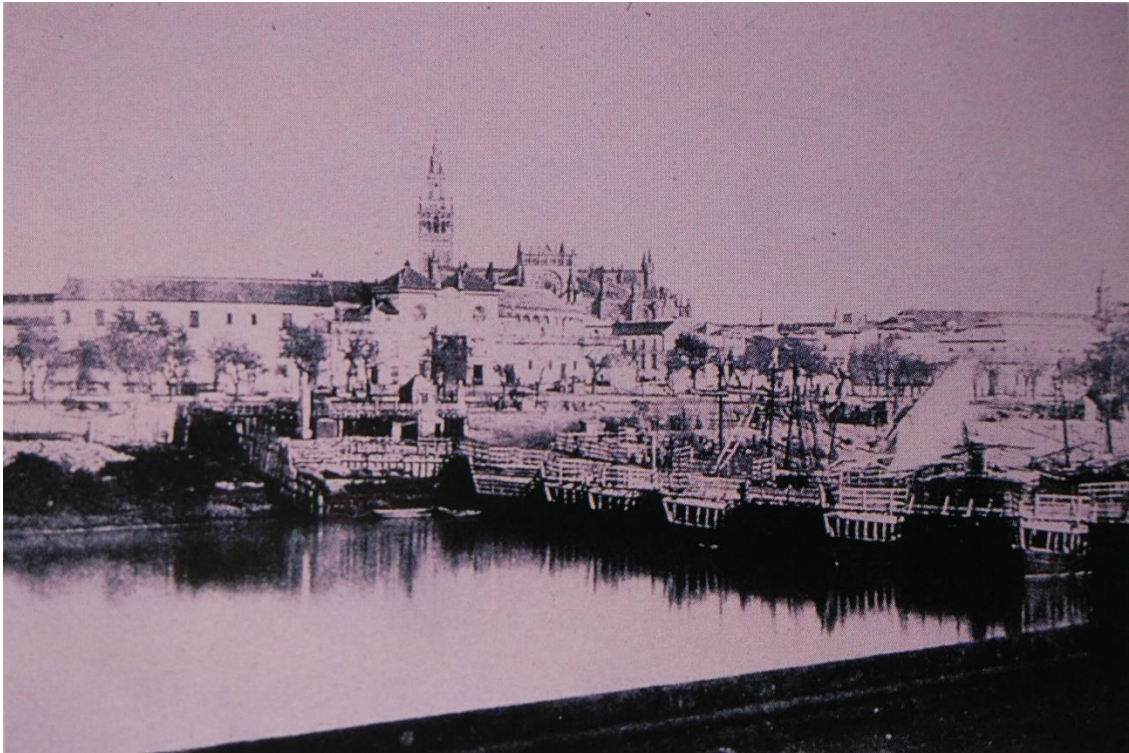


Ilustración 7. Vista real del puente realizado por la unión de barcas.

No es hasta entrados en el siglo XIX cuando, debido a acontecimiento de la revolución industrial, Sevilla asume el la idea de ciudad moderna. Ligado al concepto de ciudad moderna se decide sustituir al puente existente, formado por barcas, por un puente de fundición diseñado los ingenieros Steinacher y Bernadet cuya inspiración se basa en el puente del Carrousel de París.



Ilustración 8. Vista del puente de Triana en sus inicios.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

En el año 1846 se decide ejecutar el nuevo puente que sustituye al de barcas siendo trasladado a su nuevo emplazamiento junto a la plaza de toros. La población de Sevilla no sabía por aquél entonces que el nuevo puente llegaría a convertirse en uno de los símbolos de identificación de la ciudad, así su nuevo puente sería esbelto y elegante, de arcos rebajados y con estilo barroco. El nuevo puente quedaría defendido por la muralla antes de la llegada de las líneas de ferrocarril.

A finales de siglo se produce la llegada del ferrocarril a la ciudad lo que significaría el inicio de una modificación urbana a favor de la modernización, siendo derribada la muralla por el Ayuntamiento e instalada la línea de ferrocarril de Córdoba. Es necesario destacar que la decisión de establecer la zona de ejecución de las vías de ferrocarril sobre un muro de defensa para la integración del sistema ferroviario en Sevilla conllevaría una barrera entre la ciudad de Sevilla y el río Guadalquivir.

Las instalaciones ferroviarias en Sevilla habían establecido la estación de ferrocarril en Plaza de Armas y su acceso para viajeros se había situado en el encuentro entre la Calle Arjona y la Puerta de Triana³ (ver Ilustraciones 9 y 10). En el año 1890 se ejecutan dos nuevas obras que fueron el puente ferroviario que soportaba la línea de conexión con la ciudad de Huelva y la estación de Triana. La instalación de ferrocarril se desarrolló hasta llegar a ser una importante red de transporte urbano que conectaba a Sevilla con sus pueblos más cercanos como San Juan de Aznalfarache, Gines, Coria y Puebla del Río.

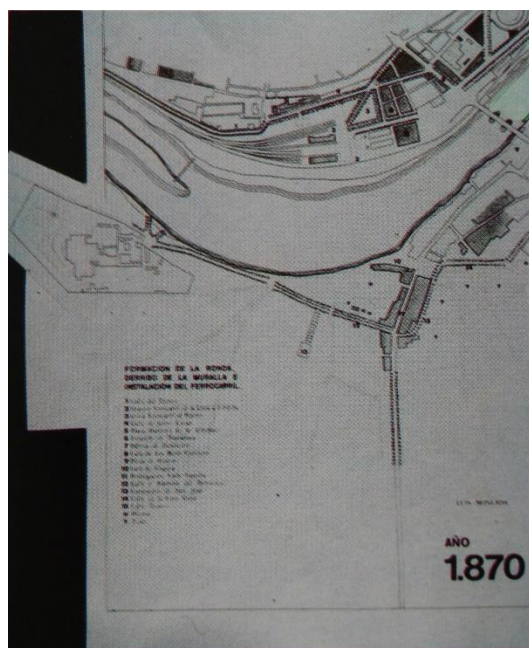


Ilustración 9. Plano del año 1870 en el que se representan las Instalaciones ferroviarias existentes.

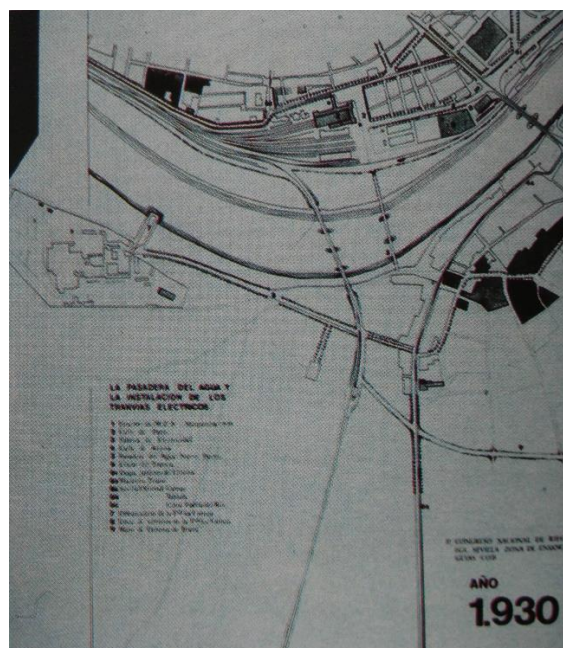


Ilustración 10. Plano del año 1930 en el que se representan las Instalaciones ferroviarias existentes.

Una vez entrados en el siglo XX se producen varios cambios en el ámbito de la relación entre el Guadalquivir y Sevilla, los técnicos del Puerto decidieron intervenir para solucionar el problema de invasión por el cauce de avenidas en la ciudad. En primer lugar, es diseñado un nuevo puerto para la ciudad por los ingenieros Molinié en 1902 y Delgado Brakenbury en 1916, junto a él se diseña un muro de defensa que acoge en su interior una dársena, que sirve como abrigo de los

³ VVAA, «Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017. Página 82.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

barcos ante las riadas, y que engloba a Sevilla y a Triana. Para llevar esto a cabo sería necesario alejar el cauce del río de la ciudad de Sevilla al igual que ya lo hiciera Leovigildo, realizando las cortas de Tablada, los muelles del canal de Alfonso XIII y posteriormente la corta de San Juan y el cierre de Chapina.

Con la intención de restituir el tráfico cortado por los nuevos cauces se ejecuta el puente levadizo de Alfonso XIII entre los años 1919 y 1926 proyectado por la Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona. Por la misma fecha también se inaugura el puente levadizo de San Telmo debido a la preparación de la ciudad de Sevilla para su Exposición Universal del 29⁴.

Siguiendo la evolución histórica tras las continuas modificaciones tanto de la fisiología del río Guadalquivir a su paso por Sevilla como de la fisiología de la misma ciudad de Sevilla llegamos a uno de los sucesos más relevantes en cuanto al diseño y proceso de ejecución del Puente del Cristo de la Expiración. Este acontecimiento tiene lugar entre noviembre del año 1948 y marzo del año 1949⁵ cuando se ejecuta el cierre definitivo del río en la zona de Chapina aterrando su cauce, se elabora así una unión con Triana mediante tierra llamada en su día “Cerramiento en Cartuja” y que popularmente se le conoció como “aterramiento de Chapina”.



Ilustración 11. Vista superior de la ubicación del inicio del tapón de Chapina.

El aterramiento comenzó con el cierre iniciado desde ambos márgenes del río en un punto aguas arriba del puente que sostenía la línea de ferrocarril hacia Huelva (ver Ilustración 11). En primer lugar fueron clavadas un conjunto de hileras de pilotes rellenas con ramaje y posteriormente se vertían piedras y tierra transportadas mediante caballería hasta el lugar (ver Ilustración 12)⁶.

⁴ AYESA, «III Premio Internacional Puente de Alcántara,» Sevilla, 1992. Consultado en Noviembre de 2017. Página 11.

⁵ VVAA, «Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017. Página 83.

⁶ VVAA, «Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017. Página 84.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Aparecieron varios impedimentos durante el transcurso del aterramiento, el más destacado de ellos fue el aumento de presión del paso del agua a medida que se estrechaba la sección útil del río lo que generaba una dificultad ante el avance del cerramiento. Los encargados de la labor de cierre no habían tenido en cuenta los efectos de la marea haciendo subir y bajar el nivel del agua dos metros cada doce horas, se tenía la idea de que cerrada la esclusa situada al sur de la ciudad la dársena sería un brazo muerto y que la corriente del río se dirigiría hacia la corta de San Juan lo que permitiría taponar fácilmente la sección deseada carente de flujo hidráulico⁷. Nada más lejos de la realidad puesto que por la apertura entraba grandes cantidades de agua durante las seis horas de marea creciente intentando elevar el nivel de la dársena dos metros y posteriormente salía la cantidad de agua correspondiente durante las siguientes seis horas de marea decreciente (ver Ilustración 13).

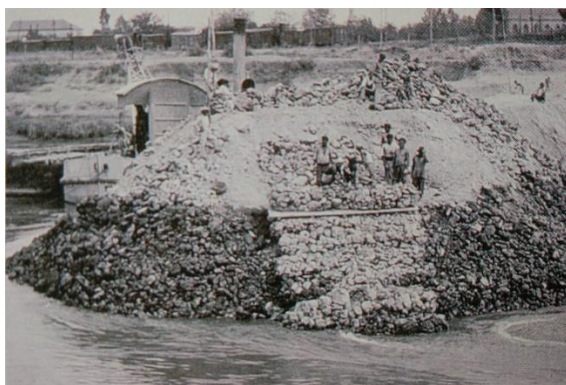


Ilustración 12. Imagen del procedimiento del cierre de Chapina.

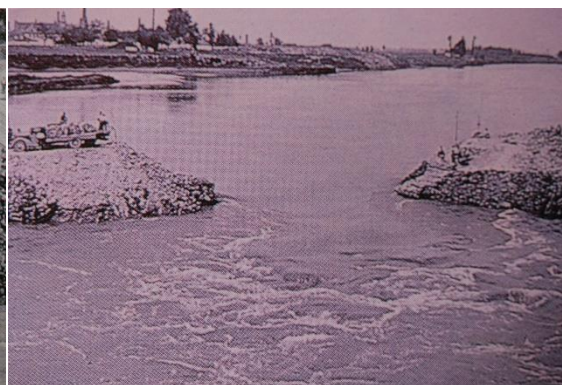


Ilustración 13. Imagen en la que se aprecia el paso del agua a través de una sección estrecha debido a la corriente producida por las mareas.

La solución llevada a cabo fue taponar el tramo de sección faltante mediante el hundimiento de barcos cargados de material de vertido⁸ para culminar así a obra de aterramiento (ver Ilustración 14). Los elementos hundidos para taponar el tramo fueron tres barcos, dos embarcaciones menores y siete botes pesqueros (ver Ilustraciones 15, 16 y 17).

⁷ AYESA, «III Premio Internacional Puente de Alcántara,» Sevilla, 1992. Consultado en Noviembre de 2017. Página 13.

⁸ Palma, S., «Los barcos del Tapón de Chapina | Sevillanadas, Sevilla en Estampas,» 18 de Noviembre de 2012. Disponible online en: <http://sevillanadas.blogspot.com.es/2012/11/los-barcos-del-tapon-de-chapina.html> (consultado el 25 de Abril de 2018).

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

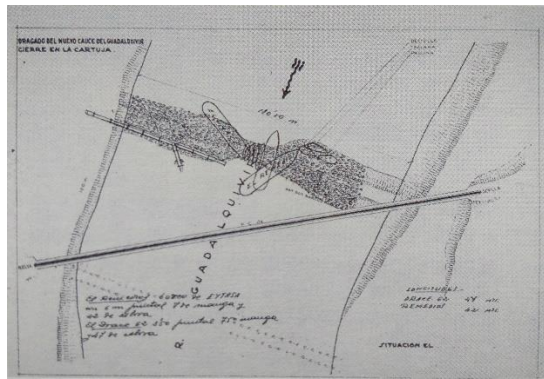


Ilustración 14. Representación de la intervención prevista de hundimiento de embarcaciones para finalizar el cierre.

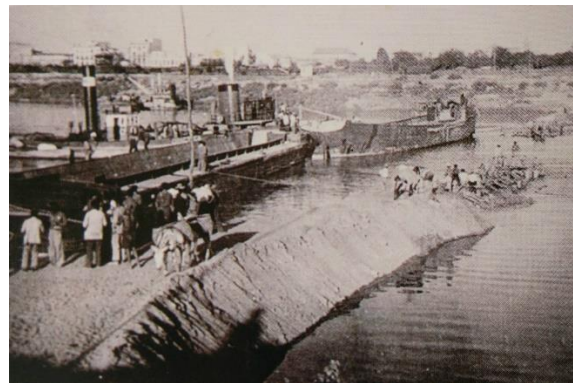


Ilustración 15. Primera imagen de las grandes embarcaciones antes de ser hundidas.

Finalizado el cierre con los hundimientos anteriores se realizó otro dique aguas abajo paralelo al anterior y el tramo entre los dos diques fue rellenado mediante productos extraídos del fondo del cauce para proporcionar anchura al aterramiento y otorgar la posibilidad de su posterior utilización.



Ilustración 16. Segunda imagen de las grandes embarcaciones antes de ser hundidas.



Ilustración 17. Imagen de las últimas y más pequeñas embarcaciones en ser hundidas para finalizar el aterramiento.

El aterramiento permaneció de tal forma durante casi una década⁹ librando a la ciudad de las avenidas aunque imponiendo un paisaje antiestético, Sevilla tenía la calle Torneo separada del río por una playa de vías de ferrocarril y su dársena finalizaba en un malecón de tierras y vertidos inaprovechados (ver Ilustración 18).

⁹ VVAA, «Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017. Página 85.

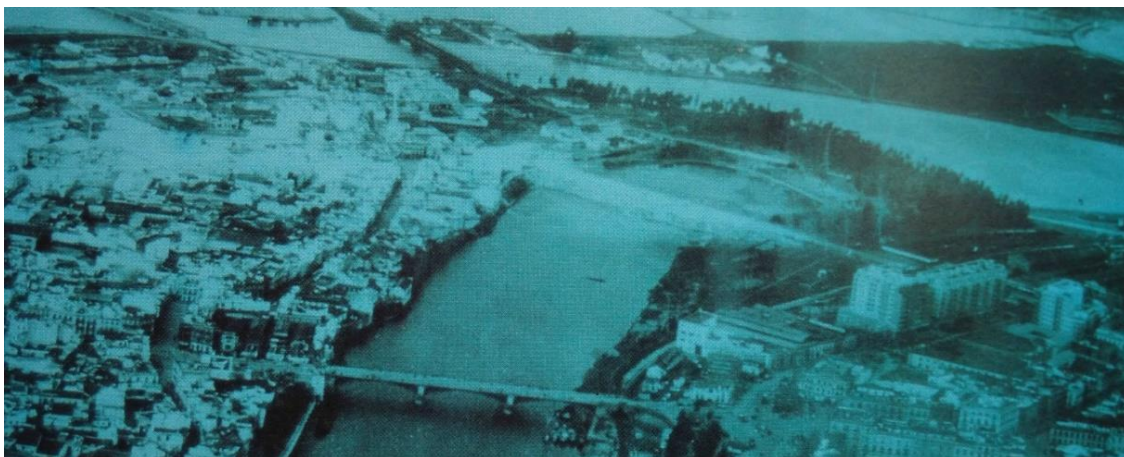


Ilustración 18. Vista de la zona de Chapina poco tiempo después de su cierre desde una posición aérea al sureste de la obra.

Años más tarde la zona de tierras provocadas por el aterramiento que carecía de valor estratégico fue objeto de una reordenación a cargo del Ayuntamiento que incluyó proyectos como el establecimiento de enlaces ferroviarios, las instalaciones y conexiones de servicios urbanos y conjuntos de instalaciones deportivas.

1.3 Necesidades de Sevilla y Expo del 92.

La complejidad de la ciudad, la presencia del río y las necesidades asociados a la relación entre ellos conllevaron grandes intervenciones que, dentro del ámbito de la ingeniería, intentaron una y otra vez solucionar los problemas provocados por dichas necesidades.

Después de años de la construcción de nuevas instalaciones en Chapina, esta zona de Sevilla había sido convertida en un colapsado nudo de comunicaciones, la ciudad había perdido condiciones tanto estéticas como urbanísticas. Pero la población sólo tenía la voluntad de volver a ver correr el río argumentado por el indeseado aspecto del aterramiento olvidando el peligro de las riadas del río Guadalquivir.

Tras varios años sin construir ningún puente nuevo en la dársena de la ciudad Sevilla había sido designada sede de una exposición universal. Por propia experiencia de la ciudad, era de esperar la ejecución de nuevos proyectos de ingeniería entre los que destacaron nuevos puentes. El lugar establecido como sede para acoger la exposición universal fue la Isla de la Cartuja, que por aquél entonces era una isla inundable, debía pasar a ser un recinto protegido ante las posibles riadas (ver Ilustración 19).



Ilustración 19. Vista superior de la Isla de la Cartuja a fecha de enero de 1990 donde se puede apreciar el tapón de Chapina a la derecha de la imagen.

En este caso, la necesidad primordial fue adecuar la ciudad y la zona señalada de la Isla de la Cartuja de Sevilla para abastecer el público de un evento de magnitud mundial. Para solventar los problemas que evidentemente suponían la inundable Isla de la Cartuja se optó por realizar un nuevo muro de defensa entre la zona de la Expo y el río.



Ilustración 20. Plano en planta de la vista general de la Expo 92 de abril de 1990.¹⁰

Realizado el muro de defensa entre la zona de la Expo y el río, el tapón de Chapina pasó a ser una obra innecesaria dado que el cauce de avenidas había sido alejado de la ciudad erradicando así la posibilidad de inundaciones de Sevilla desde un punto situado aún más aguas arriba del Guadalquivir¹¹. El tapón de Chapina dejó de tener efectividad alguna de modo que si se retirase quedaría abierto el cauce prolongando la dársena hasta San Jerónimo y la calle Torneo podría ser integrada en la orilla del río como el paseo Colón, con esta operación podría extenderse el contacto directo de Sevilla con el Guadalquivir hacia el norte de la ciudad (ver Ilustración 20).

En cambio, esta opción tenía inconvenientes considerables dado que durante años la zona de tierra que formaba el tapón de Chapina había sido utilizada como nudo neurálgico de servicios y era la puerta oeste de la ciudad de Sevilla siendo el acceso de enlace con la zona de Triana y El Aljarafe. La zona era el paso de la única ronda existente y contenía la conexión ferroviaria con Huelva y el Puerto.

Una vez tomada la decisión de deshacer el tapón de Chapina la Junta de Andalucía decide que sea José Luis Manzanares Japón el ingeniero encargado de dicha labor. Durante el año 1985 el ingeniero, junto con su equipo de técnicos de Sevilla, se centró en analizar minuciosamente la situación de los servicios e infraestructuras enterradas en el tapón de Chapina. En aquel momento, el conjunto de servicios e infraestructuras que pasaban por el aterramiento estaba compuesto por líneas eléctricas, líneas telefónicas, líneas telegráficas, tuberías de abastecimiento, tuberías de

¹⁰ Imágenes obtenidas desde: Junta de Andalucía, «Expo 92, 1992. La transformación de una ciudad. Memodria gráfica de cómo se levantó la Expo 92,» (s.f.). Disponible online en: <http://www.juntadeandalucia.es/cultura/expo92/index.php> (consultado el 07 de Febrero de 2018).

¹¹ AYESA, «III Premio Internacional Puente de Alcántara,» Sevilla, 1992. Consultado en Noviembre de 2017. Página 16.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

saneamiento y una obra comenzada que traía el alcantarillado desde la calle Torneo a la zona de los Remedios (ver Ilustraciones 21, 22 y 23).



Ilustración 21. Vista aérea de la ciudad de Sevilla en 1989.

Dado los numerosos inconvenientes, se realizó un estudio de alternativas viables para el conjunto de servicios que en aquél momento pasaban por el aterramiento y se analizó la viabilidad de reconvertir por completo el proyecto de alcantarillado de la calle Torneo que obligaba a recalcular la red de saneamiento ya existente en gran parte de la ciudad de Sevilla. Como actuaciones previas necesarias para seguir adelante con el proyecto de apertura del aterramiento también se simuló el comportamiento del fluido perteneciente a la dársena prolongada ante las diferentes maniobras de la esclusa y se evaluó el impacto de la apertura en los ecosistemas del meandro y la dársena y la explotación del puerto.



Ilustración 22. Vista aérea de la situación y estado de la Isla de la Cartuja en relación al tapón de Chapina y la ciudad de Sevilla en 1989.

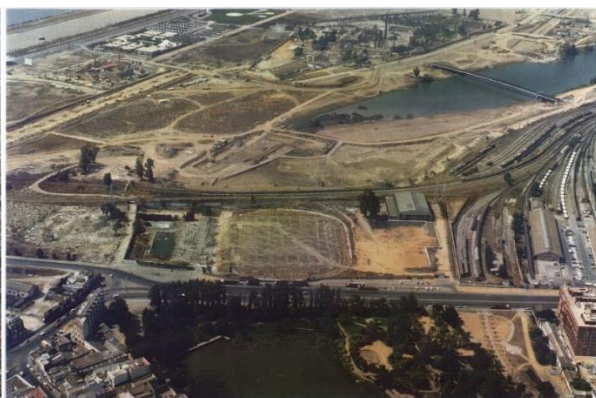


Ilustración 23. Vista aérea del estado del tapón de Chapina en la que se aprecia las edificaciones instaladas en la zona.

Una vez valorados todos los aspectos posibles en cuanto a la apertura del tapón de Chapina se verifica la viabilidad de la obra destacando ciertos beneficios para la ciudad. Entre ellos la eliminación de barreras entre la calle Torneo y el río, la integración de la Isla de la Cartuja en la ciudad de Sevilla, la conversión de un borde marginal en una entrada noble para la ciudad, la construcción de parques, jardines y obras de arquitectura e ingeniería.

La viabilidad de la obra de eliminar el tapón de Chapina fue anunciada en diciembre de 1985 por la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía y su costo sería de tres mil millones de pesetas aproximadamente¹². La ejecución de la obra tendría unas consecuencias muy importantes que afectarían al planeamiento global de Sevilla.

¹² VVAA, «Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017. Página 89.

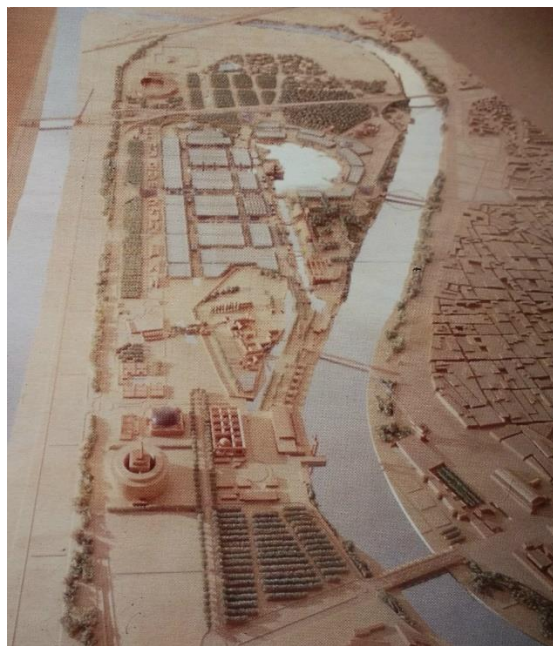


Ilustración 24. Vista general de la maqueta completa de la Expo 92 en la Isla de la Cartuja.

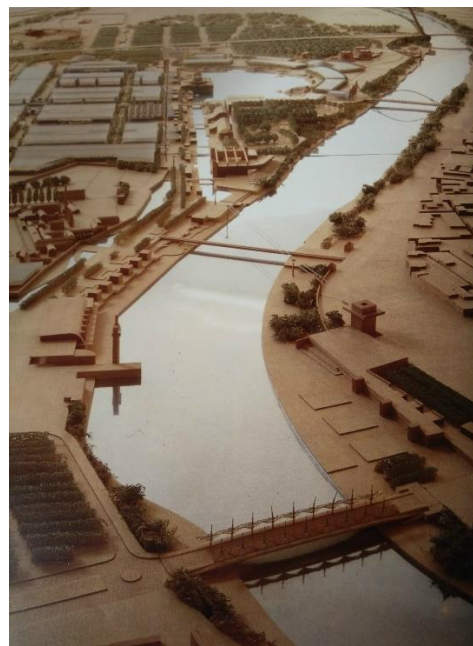


Ilustración 25. Vista de la maqueta en la que se aprecia el nuevo puente del Cristo de la Expiración y la inexistencia del tapón de Chapina.

Chapina dejaría de ser la puerta del lado oeste de Sevilla desplazando la congestión de tráfico a la ronda exterior y otros nuevos puentes que se construirían sobre la dársena (ver Ilustraciones 24 y 25). Las instalaciones ferroviarias de Sevilla serían trasladadas hacia otras zonas, el acceso a la conexión con Huelva se situaría al norte de la ciudad. Se interrumpen las obras de alcantarillado de torneo y trasladan estas obras hacia el norte de Sevilla.

Este nuevo proyecto suponía reinvertir el proceso seguido durante sesenta años hasta el momento, es decir, deshacía la labor de los últimos años para volver a reconvertir Sevilla en una duración de cuatro años¹³. La relevancia del proyecto para la ciudad era innegable, una operación de desterramiento que involucrase un nuevo puente sería una operación única en su ámbito raramente reproducible y supondría un distintivo de Sevilla para el mundo.

¹³ VVAA, «Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017. Página 89.

2 Puente Cristo de la Expiración.

2.1 Emplazamiento.

Analizada la evolución de Chapina y sus zonas colindantes sabemos el lugar de emplazamiento del puente. Como ya se ha dicho, el puente ocupa la zona que era el Tapón de Chapina, al oeste de la ciudad de Sevilla.

Actualmente sigue siendo uno de los puntos de conexión más utilizados por los usuarios de transporte en la ciudad debido a su situación y conexión literal con la estación de autobuses de Plaza de Armas. El puente es utilizado a diario como acceso principal a la ciudad por usuarios que llegan desde A-49 o salen hacia ella en dirección Huelva.

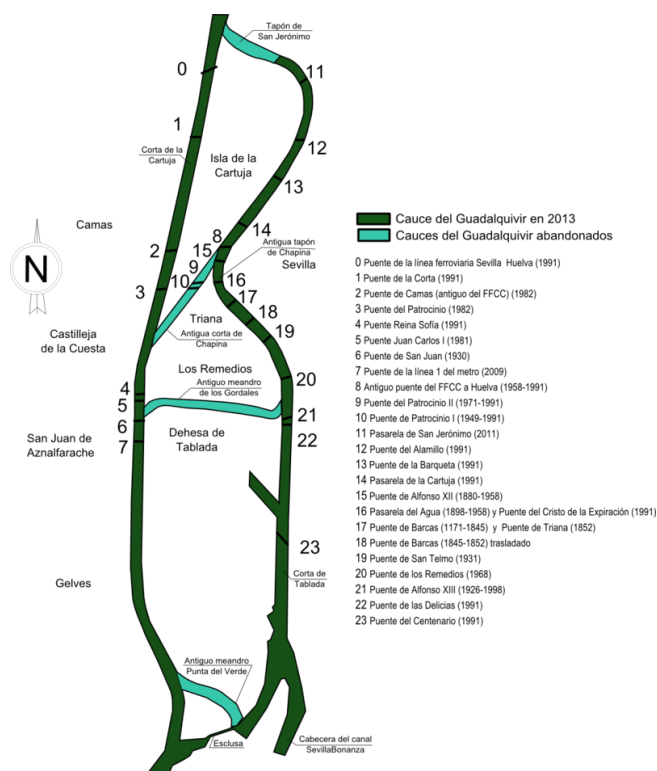


Ilustración 26. Representación de la situación de los puentes de la ciudad de Sevilla a fecha de 2013.



Ilustración 27. Mapa actual del contexto de parte de la dársena a su paso por Sevilla.

En cuanto al lugar que ocupa sobre la dársena que transcurre por la ciudad, el puente está situado tras otros puentes: Puente del Alamillo, Puente de la Barqueta y Pasarela de la Cartuja; nombrados por orden de situación de norte a sur hasta el puente del Cristo de la Expiración.

Siguiendo con el transcurso de la dársena por la ciudad le siguen los siguientes puentes: Puente de Triana, Puente de San Telmo, Puente de los Remedios, Puente de las Delicias y Puente del Centenario; nombrados nuevamente por orden de situación de norte a sur antes de la Esclusa (ver Ilustraciones 26 y 27)¹⁴.

¹⁴ Wikipedia, «Puentes de Sevilla,» 11 de Febrero de 2018. Disponible online en: https://es.wikipedia.org/wiki/Puentes_de_Sevilla (consultado el 25 de Abril de 2018).

En la parte este de la dársena el puente da acceso en sentido norte a la calle Torneo y en sentido sur da acceso a las calles Arjona y Radio Sevilla. En la parte oeste de la dársena el puente da acceso a la Calle Gonzalo Jiménez de Quesada y la avenida Expo'92 (ver Ilustración 28).

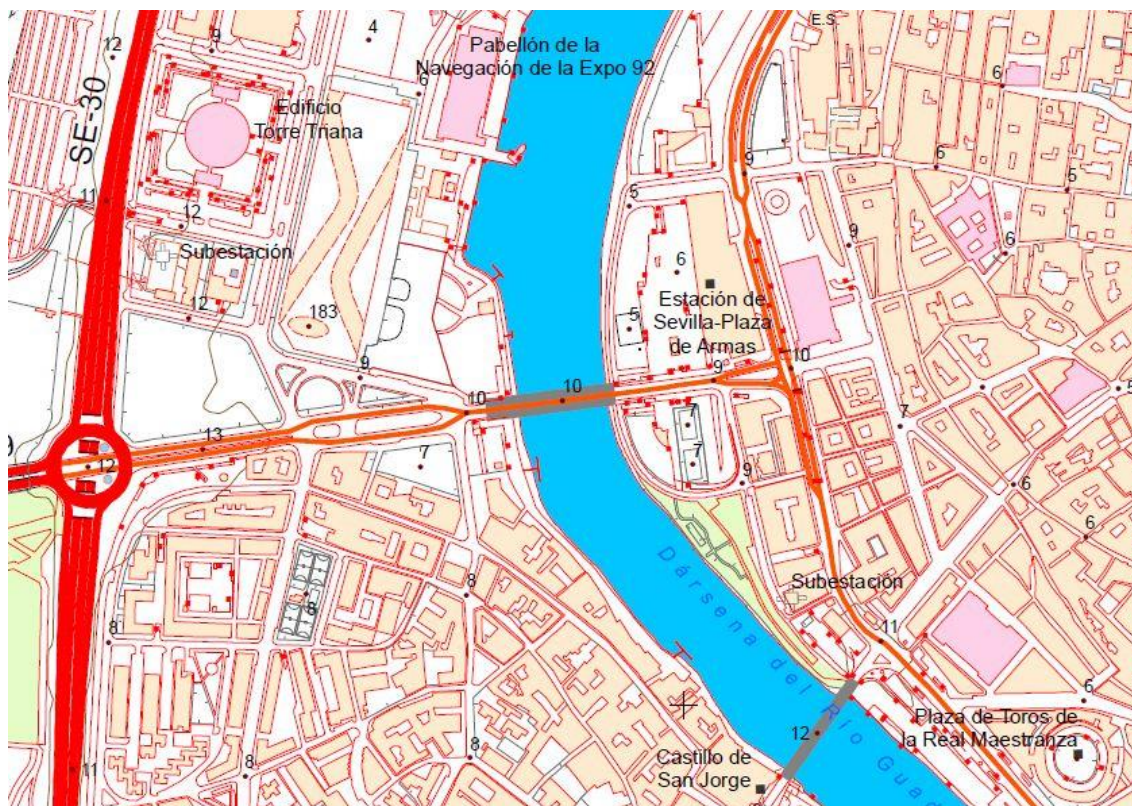


Ilustración 28. Emplazamiento del Puente del Cristo de la Expiración junto a la referencia de la Estación de Sevilla-Plaza de Armas.

2.2 Proyecto.

El puente del Cristo de la Expiración, también conocido como puente de Chapina o puente del Cachorro, fue uno de los proyectos que formaron parte de una obra de remodelación urbanística de la ciudad de Sevilla como consecuencia de la Expo'92.

El puente junto con el cambio de distribución de las vías ferroviarias y los proyectos colindantes a los anteriores dieron lugar a una alteración tanto del paisaje, en el ámbito estético de Sevilla, como la nueva distribución urbana que mejoraría el tráfico y ordenaría nuevos terrenos aprovechables.

Impulso inicial para la realización de la obra fue dado por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte con D. Juan Lazcano Acedo como coordinador en la Dirección General de Madrid, D. Emilio Miranda Valdes como Ingeniero Director del Proyecto y la Obra y D. Manuel Rios Perez en la Jefatura de Demarcación de Carreteras del Estado de Andalucía.

La obra del puente fue dirigida y financiada por el Ministerio de Obras Públicas y Fomento de Obras y Agromán construyeron la obra.

El Ingeniero sevillano D. José Luis Manzanares Japón recibió el encargo y desarrolló la idea en AYESA (empresa fundada por él), para que una Unión Temporal de Empresas formada por AGROMAN y FOMENTO DE CONSTRUCCUONES Y CONTRATAS, asistida por ENSIDESA, se encargase de ejecutar la obra.

2.2.1 Necesidad de servicios a cumplir.

¿Cómo debería ser el nuevo puente para que pudiera suplir con todos los requisitos necesarios que suponía la situación? Debería ser un puente útil, el nuevo puente debería permitir el paso de todos los servicios e infraestructuras que anteriormente cruzaban por el aterramiento.

Siendo exactos, los servicios que debía contener en su interior para permitirles el cruce de la dársena eran los siguientes:

- Dos tuberías de un metro y treinta centímetros de EMASESA para el abastecimiento de Sevilla.
- Veinticuatro conductos de líneas telefónicas formadas por veinte coaxiales y el resto de fibra óptica para permitir las conversaciones telefónicas enlazando con Extremadura y Portugal.
- Seis líneas de cincuenta mil voltios y otras de veinte mil para alimentar eléctricamente la ciudad.
- La conducción de gas a Triana mediante un gaseoducto de treinta centímetros de diámetro.
- Cuatro conductos de líneas telegráficas.

Otro aspecto de igual relevancia para el puente, como el paso del conjunto de servicios previamente existentes, fue la necesidad de contener una infraestructura con una sección transversal capaz de soportar el intenso tránsito entre Sevilla y Triana.

El puente sería la salida principal del centro de la ciudad de Sevilla hacia el oeste, tendría una posición privilegiada como mirador desde el cual poder contemplar la ciudad de Sevilla mirando al sur y la nueva Sevilla de la Expo mirando al norte.

El tráfico sería abastecido con seis carriles, tres para cada sentido de conducción. El tránsito de peatones sería suplido mediante anchas aceras a cada lateral con caminos de bajada hacia el río donde habría una vía por la cual pasear a las orillas del río. La condición de mirador desde el cual observar el paisaje llegaría gracias a la cubierta para cesar la luz del sol o la lluvia.

Otro último factor a tener en cuenta aunque no menos importantes que los citados anteriormente es el contexto del proyecto, el nuevo puente estaría situado en pleno casco histórico de Sevilla por lo que la obra debía ser lo más respetuosa posible con su entorno y su historia. El puente no podía convertirse en un elemento de contraste en el paisaje de Sevilla por lo que no debería competir visualmente con construcciones tan simbólicas como lo eran la Giralda, la Maestranza o la Torre del Oro.

2.2.2 Elección de diseño.

A principios del año 1987 se comenzó a realizar el anteproyecto del puente, con él se establecería el diseño en base a los primeros bocetos y un conjunto de puntos clave a tener en cuenta.

La primera condición del diseño fue que el nuevo puente tendría que salvar el vano con el mínimo número de obstáculos posibles, es decir, reducir el número de apoyos del puente lo máximo posible para respetar la recuperación del río una vez desaterrado el cierre.

La segunda condición del diseño fue que éste debería ser una obra atrevida dentro del paisaje de la ciudad ya que constituiría la entrada a la Expo del 92. No podría ser una obra convencional,

debía ser una obra imaginativa, que estuviera fuera de las soluciones formales, en la que la economía y los métodos constructivos no fuesen un impedimento para la ejecución del proyecto¹⁵.

La tercera condición del diseño fue que el puente no debería tener una gran estructura sobre su tablero, dejando fuera de opciones obras como puentes de arcos sobre tablero o puentes atirantados. Esta condición se debió a la situación del nuevo puente, estaría en pleno casco histórico por lo que el puente tendría que ser discreto ante las demás construcciones relevantes de la zona.

La cuarta y última condición venía sujeta al hecho de que la ciudad de Sevilla ya contaba con dos puentes tradicionales, y éstos eran obras de arco rebajado cuyas estructuras eran tan elegantes como discretas. Se apreciaba en ellos una arquitectura empapada de curvas arqueadas. El nuevo puente también tenía que ser arco y el tablero debía ser superior, huyendo así de la línea recta (ver Ilustración 29).

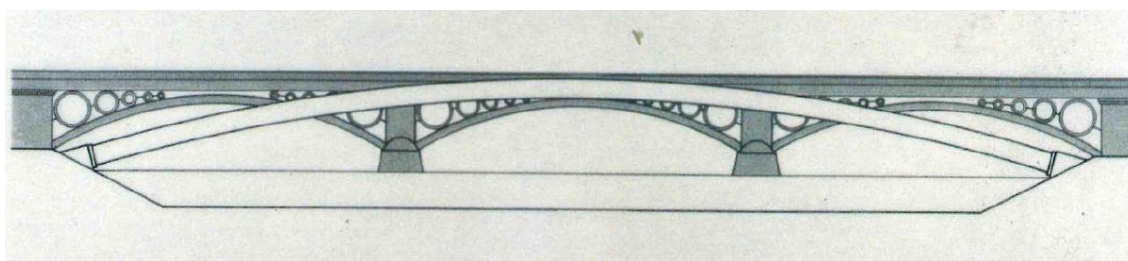


Ilustración 29. Boceto inicial del arco que formaría parte del nuevo puente en comparación con el puente de Isabel II de Sevilla.

Siguiendo la línea de los puentes tradicionales se optó por salvar los casi ciento treinta metros del Guadalquivir de un solo salto con un puente de un solo arco. Ya que se recuperaba el río con la retirada del tapón de Chapina no había cavidad para la opción de tapar la sección transversal de cauce parcialmente con pilas y cortas luces.

Surgieron así los primeros bocetos en los que se apreciaba una obra atrevida debido a la relación flecha – luz, ésta era de 1/14. Lo que resultaba ser una estructura muy plana ante la relación de 1/10, a partir de la cual comienzan a aparecer problemas de estabilidad (ver Ilustración 30).

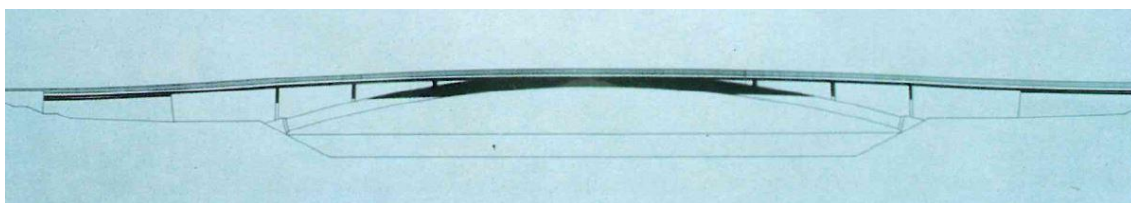


Ilustración 30. Boceto inicial del puente del Cristo de la Expiración.

Otro aspecto necesario a tener en cuenta en el diseño del puente fue la adecuación en rasante en relación a los terrenos colindantes para mostrar homogeneidad con los puentes ya existentes en Sevilla. El P. G. O. U. de Sevilla había establecido la cota diez para las entradas y salidas del puente y la cota de la rasante del nuevo puente debería mantener el gálibo existente en otros puentes para que las embarcaciones pudieran recorrer toda la dársena. Finalmente se eligió que la máxima cota del puente debería ser de trece por varias razones.

¹⁵ VVAA, «Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017. Página 90.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

El gálibo tenía que ser una cota superior a doce para mantener la estética y asemejarse a los puentes ya construidos en el río y otorgar las mismas posibilidades de navegación.

Como mediante el diseño inicial se había seleccionado una solución de arco rebajado, un aumento de un metro significaría una mejora tanto económica como técnica para el estado tensional de la estructura y las cargas transmitidas a cimentaciones.

La particularidad de las aceras del puente fue diseñada gracias a la colaboración del arquitecto Ignacio de la Peña que trabajó como asesor de diseño¹⁶. En el diseño del puente se plantearon varias opciones en las que las aceras se separaban respecto a la calzada, esta idea permitiría prolongar visualmente el arco superior y se ofrecería al peatón poder descender directamente a la orilla de los dos márgenes de la dársena (ver Ilustraciones 31, 32 y 33).

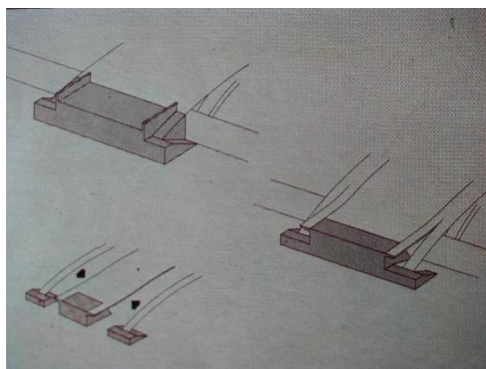


Ilustración 31. Bocetos de las distintas ideas sobre los quiebros de las aceras laterales del puente.

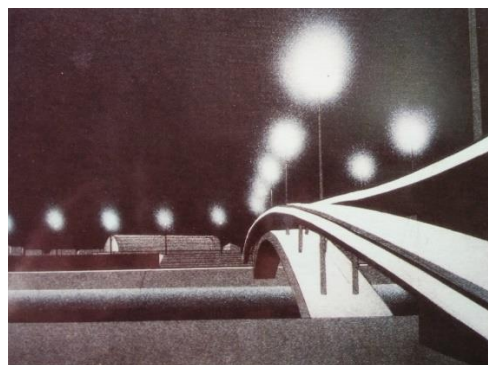


Ilustración 32. Boceto que muestra el tipo de quiebro de acera definitivo para el puente.

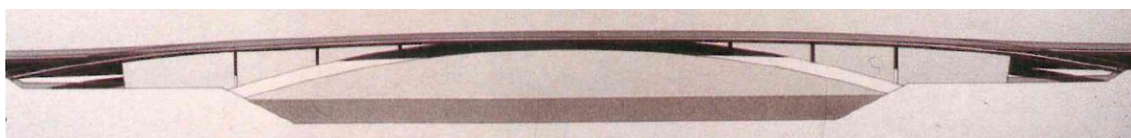


Ilustración 33. Boceto inicial del puente del Cristo de la Expiración con la particularidad de las aceras añadidas.

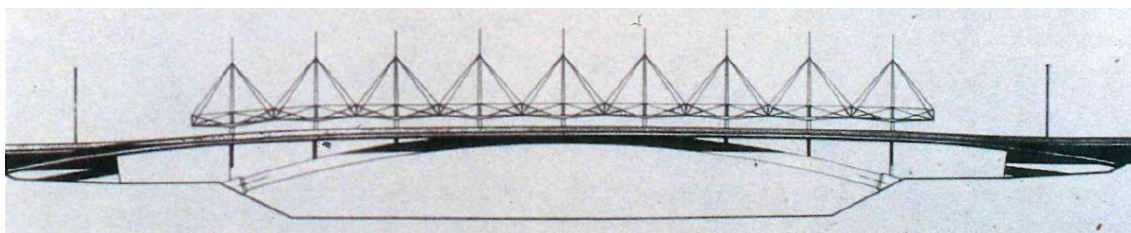


Ilustración 34. Boceto inicial del puente del Cristo de la Expiración con las particularidades de las aceras y el cubreaceras añadidas.

También gracias al arquitecto se planteó la idea de añadir una marquesina colgada cuya función sería la de cubreaceras. Este planteamiento fue remarcado una vez se decidió construir un conjunto de mástiles que la sostendrían y a la vez formaban una nueva superestructura curva en forma de arco superior sobre el tablero. De esta manera, el proyecto final contendría todos los aspectos de diseño destacados anteriormente y se le añadiría un último elemento particular, el

¹⁶ VVAA, «Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017. Página 93.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

cubreaceras. Éste sería blanco, prolongado a lo largo del tablero y con forma de paraboloides hiperbólicos (ver Ilustración 34).



Ilustración 35. Boceto del recorrido del río por Sevilla tras construirse el puente del Cristo de la Expiración y haberse retirado el Tapón de Chapina.

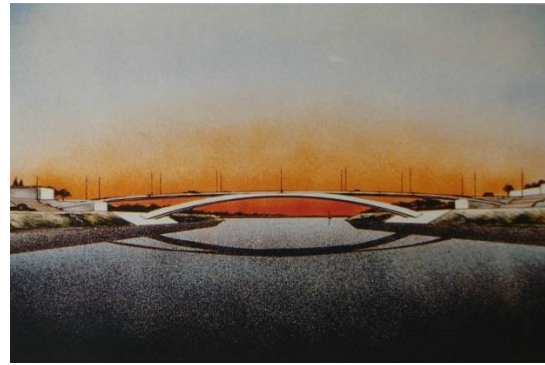


Ilustración 36. Boceto del puente del Cristo de la Expiración sobre el río desde una vista frontal.



Ilustración 37. Boceto del puente en interacción con la ciudad y su población.



Ilustración 38. Boceto de la vista inferior del puente desde el paseo a las orillas del río.

2.2.3 Elección de material.

A continuación se exponen los materiales y sus características, definidos para la ejecución del puente, en base a razones técnicas y constructivas. El siguiente avance en el proyecto tras establecer el diseño del puente fue hacer su predimensionar el arco en base a las dos opciones de material posibles, metálico o de hormigón.

Se decantó finalmente por la estructura metálica debido a varios factores de la obra que condicionaron totalmente la elección de material.

En primer lugar, el puente decide ejecutarse con elementos estructurales metálicos antes que de hormigón debido a que el diseño del puente imponía que las cimentaciones tendrían que soportar los fuertes empujes horizontales. El empuje crece con el peso del propio puente y el peso del tráfico que lo cruce, por lo tanto una estructura de arcos metálicos podría llegar a suponer un peso entre la mitad y la tercera parte que una solución de hormigón. Por lo tanto para reducir notablemente el empuje sobre las cimentaciones queda justificada la preferencia de la estructura metálica ante la de hormigón (ver Ilustración 39).

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

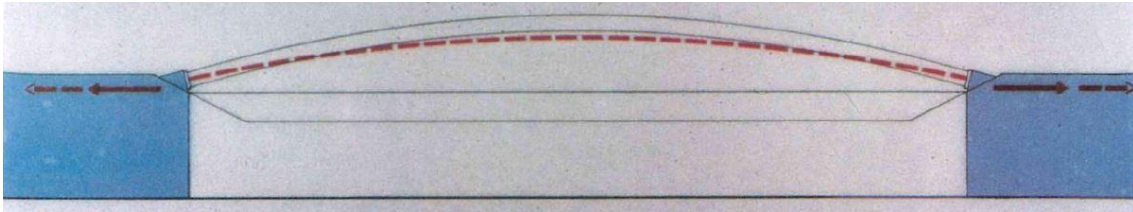


Ilustración 39. Boceto de las cargas horizontales interactuando entre la estructura de arcos y los cimientos del puente.

En segundo lugar, como requisito inicial de la obra el puente debía albergar en su proyecto espacio para los servicios e infraestructuras nombradas anteriormente que debían cruzar la nueva dársena por el puente. Las grandes dimensiones de las tuberías que formaban el conjunto de servicios serían muy llamativas si se dejaban a la vista por lo que se decidió acogerlas en el interior del tablero. Esta decisión conllevó que el ancho de los arcos tuviera un mínimo de dos metros, lo que proporcionaba un aspecto resistente y esbelto y espacio para poder contener todos los conductos de los servicios necesarios.

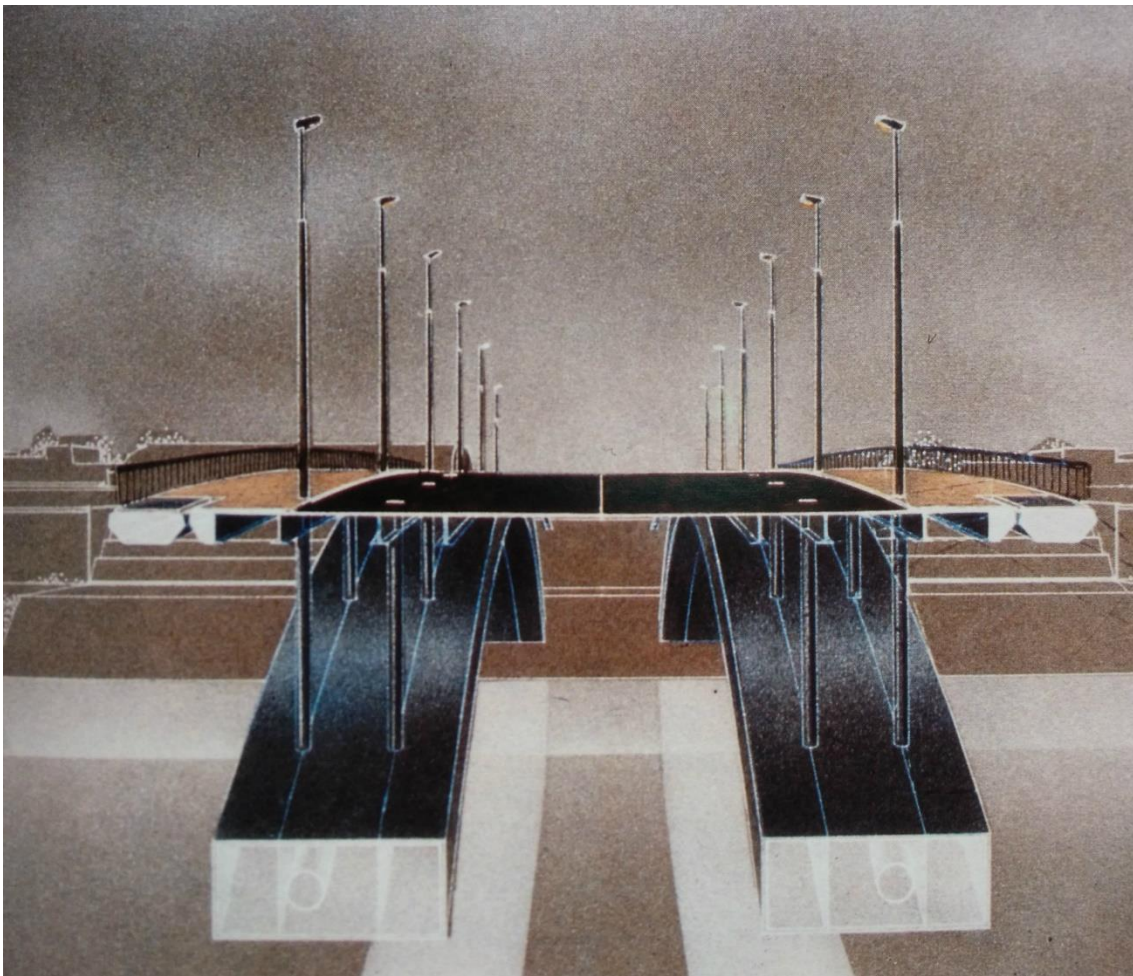


Ilustración 40. Boceto de la sección transversal donde se aprecia los conductos de servicios en el interior de los arcos del puente.

La solución quedó por tanto en dos arcos metálicos paralelos, huecos para que pudiese albergar todos los conductos y tuberías necesarias, y visitables para otorgar la posibilidad de realizar labores de mantenimiento¹⁷ (ver Ilustración 40).

2.2.4 Influencias técnicas y precedentes ejemplares.

José Luis Manzanares tuvo varias inquietudes en cuanto a la decisión que había tomado sobre el tipo y la forma del puente, posteriormente a haber realizado el diseño del puente se preocupó por la búsqueda documental acerca de puentes previos con similitudes al diseño establecido. Tras la búsqueda bibliográfica realizada de arcos planos con ciento treinta metros de luz, se determinó que el único ejemplo de estudio sería el Puente de Alejandro III de París.

El diseño seleccionado no tenía más que un solo precedente en aquella época por lo que su análisis fue la única posibilidad de aproximarse al que sería su primer puente de gran relevancia. El Puente de Alejandro III de París fue considerado como una de las mayores obras de ingeniería realizadas sobre el río Sena construido en 1898 para dar paso a la Exposición Universal de 1900¹⁸ (ver Ilustración 41).



Ilustración 41. Vista lateral del Puente de Alejandro III de París.

El Puente de Alejandro III en el que se había fijado estaba sujeto a condiciones similares al nuevo puente del Cristo de la Expiración. El puente estaba formado con arco y el cual también necesitaba resistir grandes empujes horizontales en los estribos sin recurrir a pilares intermedios. Se trataba de un puente metálico de cuarenta metros de ancho, con un firme central de veinte metros y dos

¹⁷ AYESA, «III Premio Internacional Puente de Alcántara,» Sevilla, 1992. Consultado en Noviembre de 2017. Página 41.

¹⁸ Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, «La obra favorita de José Luis Manzanares Japón,» Diciembre de 2007. Disponible online en: <http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Ingenier%C3%ADa-Humanismo/Obra%20JoseLuisManzanares.pdf> (consultado el 07 de Febrero de 2018). Página 01.

aceras laterales de diez metros cada una, y de ciento seis metros de longitud de arco y con una relación flecha – luz de $1/17^{19}$, límite al que no se había llegado en ningún otro caso. El puente, que brillaba por su elegancia y su línea estética, también otorgaba una altura libre suficiente para otorgar el paso de la navegación (ver Ilustración 42).



Ilustración 42. Vista frontal del Puente de Alejandro III en la que se aprecia las embarcaciones que pasan por el río.

Por el conjunto de características del puente José Luis Manzanares decidió fijarse en él tomándolo como referencia para el puente del Cristo de la Expiración de Sevilla.

En cambio el ingeniero decidió cambiar la estructura del arco por una estructura formada por arcos de chapa ortótropa y de sección en cajón con tablero superior. Por aquél entonces no se disponían de experiencias previas de puentes cuya estructura general fuesen arcos de chapa ortótropa y de sección en cajón con tablero superior. El puente más cercano y que más se asemeja a lo descrito es el puente de La Barqueta aunque sea de tablero inferior, éste fue proyectado posteriormente al Puente del Cristo de la Expiración pero fue construido antes.

Por lo tanto, el ingeniero José Luis Manzanares Japón llevó a cabo un intenso proceso de búsqueda de información sobre las soluciones más parecidas al caso que hubiesen sido realizadas previamente. Tras consultar toda la bibliografía encontrada no le resultó de éxito relevante para el proyecto del nuevo puente debido a que las soluciones más realizadas más semejantes a su propuesta fueron puentes de tramo recto en sección de cajón con directriz del cordón inferior variable. Estos puentes ya construidos suponían un problema añadido, los puentes así construidos como el puente de Milford y Haven y el puente de West Gate Bridge en Melbourne sobre el Yarra, el puente del Danubio en Viena y el puente del Rhin en Koblenza se cayeron entre los años 1970 y 1971. Lo que supuso que se tomara las normativas, que rigieron sus estructuras y sus

¹⁹ Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, «La obra favorita de José Luis Manzanares Japón,» Diciembre de 2007. Disponible online en: <http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Ingenier%C3%ADa-Humanismo/Obra%20JoseLuisManzanares.pdf> (consultado el 07 de Febrero de 2018). Página 04.

consecuentes cálculos, como erróneas o inseguras ante su aplicación para el nuevo puente, a pesar de la tecnología de la que se disponía en el momento.

Consecuencia de las catástrofes sufridas anteriormente en los casos de este tipo de estructuras se creó una comisión presidida por el ingeniero inglés Merrison. Esta comisión estudiaría las causas de dichos accidentes y establecería una nueva doctrina de aplicación en la ejecución de esta tipología de estructuras. Gracias a esta nueva comisión se publicaron dos documentos relevantes para el ingeniero José Luis Manzanares Japón en cuanto al proyecto del Puente del Cristo de la Expiración, los documentos fueron un conjunto de trabajos de la comisión conocido como las Reglas de Merrison en 1974 y de aplicación para los puentes metálicos de sección cajón, y la BS 5400 Sec. 3, la Norma Británica para puentes metálicos en 1982²⁰. Los dos documentos nombrados formarían la bibliografía de prescripciones en el ámbito de la chapa ortótropa comprimida.

La complejidad del proyecto aumentó pues proyectar un nuevo puente con una normativa de aplicación extranjera en España supuso dificultades añadidas. Evidentemente la británica no era de aplicación en España, sólo lo era en su país de origen. Por lo tanto la primera tarea de José Luis Manzanares Japón fue realizar un predimensionado según el primer documento relevante, las Reglas de Merrison de 1974, del nuevo puente en su fase de diseño para posteriormente aplicarle la Norma Británica BS 5400 Sec. 3 y verificar la viabilidad del diseño predimensionado en cuanto al establecimiento de juntas, tornillos, soldaduras, rigidizadores, etc.

2.2.5 Problemática de ejecución.

Una de las condiciones más relevantes y exigentes en ámbitos técnicos del nuevo puente fue que éste estaría formado por un solo arco con una luz de gran longitud, por lo que necesitará unos estribos capaces de resistir el imponente empuje que sufrirían en sentido horizontal. Respecto a esta condición se dio una circunstancia particular para el proyecto en concreto que permitió abordar la solución tomada.

La condición destacada fue que el conjunto de servicios que cruzarían la nueva dársena a través del puente necesitaban instalaciones de gran envergadura, con importantes rigideces horizontales, en cada una de las orillas de la dársena.

Tras la problemática que supuso la longitud del arco tan plano proyectado llegaron los últimos elementos que conllevarían complicaciones al proyecto completo, estos elementos fueron las cimentaciones. La morfología del puente y su estructura de arcos habían sido diseñadas para poder llegar a transmitir al terreno unos empujes horizontales de más de doce mil toneladas, el terreno que se tenía era fangoso con ausencia de grava hasta los catorce metros y margas hasta los veinte metros de profundidad. A pesar del avance y tecnologías existentes por aquél entonces en el ámbito de estudio en la mecánica del suelo, los empujes horizontales debido a estructuras de arco con tablero superior seguían siendo proyectos con grandes dificultades de tratar.

La opción adoptada fue la de ejecutar una zapata de grandes dimensiones tan pesada que desviase la componente del empuje horizontal, la solución fue proyectar un recinto apallantado relleno de ocho mil metros cúbicos de un hormigón compactado barato. Esta opción fue posible de realizar favorecida por la gran anchura del puente que otorgaba la misma anchura a la cimentación.

²⁰ VVAA, «Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017. Página 97.

Como los arcos forman una estructura sensible a movimientos horizontales, éstos debían ser controlados y evaluados con especial relevancia. Fue necesario realizar un riguroso análisis geotécnico con sondeos y ensayos en cada uno de los estribos para medir la deformabilidad de los suelos afectados por la obra. Los futuros movimientos de los cimientos serían sucesos indeseables por lo que se decidió colocar las rótulas de los arcos de manera que unos gatos pudieran corregir dichos movimientos.

2.2.6 Descripción General.

2.2.6.1 Los elementos estructurales del puente.

El puente está compuesto por una estructura principal de dos arcos paralelos de chapa ortótropa. Los dos arcos son de sección cajón tricelular, cada uno tiene siete metros de ancho y sus cantos varían entre dos metros con quince centímetros y dos metros y medio. La distancia transversal continua existente entre ellos de diez metros y diez centímetros.

2.2.6.2 El tablero del puente.

Sobre la estructura principal de los dos arcos paralelos se dispone el tablero del puente, éste está sustentado por un emparrillado metálico apoyado en los tramos centrales de los arcos por sistemas de manclado compuesto por seis líneas de cuatro pilonos birrotulados.

2.2.6.3 La sección transversal del puente.

Sobre el tablero se tiene el conjunto de calzada central y dos aceras laterales. El firme de la calzada es de aglomerado asfáltico y la calzada tiene una anchura total de diecinueve metros y medio teniendo dos sentidos haciendo un total de seis direcciones con tres carriles por sentido. Cada acera lateral tiene cinco metros y medio de anchura y están puntadas con un mástic epoxylico.

Las aceras tuvieron tres particularidades. La primera de ellas son sus anchuras de cinco metros y medio cada una, la segunda de ellas es que cada acera se divide en dos al llegar a los riñones, ofreciendo al peatón la posibilidad de descender hasta la orilla del río Guadalquivir para continuar su paseo junto al río, en vez de continuar hasta situarse sobre los estribos. La tercera y última particularidad son los cubreaceras formados por un textil que permiten eludir la lluvia y la luz del Sol para comodidad del caminante.

En su totalidad la sección transversal tiene treinta metros y medio de anchura con una pendiente del uno por ciento hacia el centro de ésta para evitar el desagüe del agua sobre los dos arcos.

2.2.6.4 La cimentación del puente.

Para soportar los empujes provocados por el arco horizontal, que suponen un esfuerzo horizontal de 12.200 toneladas y un esfuerzo vertical de 2.750 toneladas ante un terreno de material mayormente blando, se forman unas zapatas de veintiséis metros de anchura, treinta metros de longitud y veinte metros de profundidad rellenas con hormigón compactado. Estas dimensiones conllevan un peso suficiente para otorgar al proyecto la estabilidad necesaria y que las tensiones generadas sean admisibles. Sobre las zapatas se encuentran los estribos de cada lateral donde se apoya el tablero del puente. Sobre las zapatas se alzaron dos construcciones con muros revestidos de granito que servirían como recintos ocultos donde se ejecutarían las labores de mantenimiento de las redes de servicios que discurren por los arcos del puente.

2.2.7 Características particulares.

Caracterización principal del proyecto fue el orden de las tareas como ya se ha explicado anteriormente. En primer lugar se realizó el puente en seco y posteriormente se retiró el tapón de Chapina.

Una particularidad de los estribos es que dentro de cada uno se instaló un péndulo invertido anclado en la marga encargado de registrar los giros de las zapatas, y un distanciómetro encargado de registrar el alejamiento de los extremos para instrumentar los posibles movimientos una vez se uniesen los arcos y los cimientos.

El cubreaceras supuso otro problema en cuanto a la idea de puente tradicional que se dio desde un principio, no se podía alterar el paisaje ya formado durante años. Tras una revisión de documentos fotográficos se comprobó que las aceras del puente de Triana se cubrían con guirnaldas de luces dibujando líneas parabólicas proporcionando luz sobre el puente durante las fiestas de la Velá de Santa Ana. Con esta revisión se decidió dar forma de paraboloides hiperbólicos a los toldos del Puente del Cristo de la Expiración y así resplandecer iluminados durante las noches. De esta manera se respetaba la vista tradicional de Sevilla mediante una lona crema cuyo material era polietileno revestido de pvc para garantizar la durabilidad necesaria.

Para evitar que la lluvia caiga por los bordes del cubreaceras se diseñó una estructura metálica formada por vigas de canalones y columnas con el objetivo de sostener el cubreaceras y evacuar el agua caída sobre ella mediante bajantes constituidos por tubos embebidos en las aceras. También se tiene un tablero con pendiente del uno por ciento hacia su centro para evacuar el agua desde allí hacia el río directamente.

Los mástiles del puente sirven actualmente como soporte de las farolas y antiguamente también como soporte para una pequeña exposición de gallardetes marinos que ondearon el viento a razón de la celebración de la Exposición Universal.

El nuevo puente del Cristo de la Expiración sería conocido mundialmente como el único puente metálico cuya estructura resistente estaba compuesta por dos arcos paralelos con una longitud de ciento veintiséis metros de luz y cuya flecha llegaba a los nueve metros y medio. Quedando como el puente formado por arcos más planos contruidos con dicha luz.

2.2.8 Datos técnicos.

Datos técnicos del puente metálico del Cristo de la Expiración:

Tabla 1. Datos técnicos del proyecto

Luz de los arcos:	126. 724 metros
Flecha:	9,046 metros
Canto máximo en apoyo:	2,48 metros
Ancho del cauce salvado:	134 metros
Ancho del tablero:	30,50 metros
Longitud del tablero:	223,09 metros

Cantidad de hormigón en los cimientos:	22.972 metros cúbicos
Cantidad de acero A-52:	3.919.926 metros cúbicos
Presupuesto total del puente:	1.917.226.138 pesetas
Presupuesto de la obra completa de Chapina – Patrocinio:	5.254.326.762 pesetas

Haciendo el cambio de pesetas a euros para saber el precio en la moneda actual sería: 31.579.139,84€.

2.3 Construcción.

2.3.1 Condiciones iniciales.

Una vez el proyecto fue realizado y la estructura del puente fue calculada mediante el uso de los modelos más sofisticados del momento teniendo en cuenta factores como: la no linealidad geométrica, los elementos finitos con comportamiento lineal en el análisis de tensiones en los puntos de maclado y rótulas y los elementos finitos para el análisis del comportamiento del cimiento entre otros; se continuó con su construcción.

Las circunstancias a las que se enfrentó la obra formaron un caso difícilmente repetible, el proceso constructivo del puente estaba facilitado desde un inicio gracias al contexto de la obra (ver Ilustración 43). Se dio el caso excepcional de que la fase de desaterramiento, por la cual se daba la apertura al nuevo cauce, estaba planificada justo tras la construcción completa del nuevo puente.



Ilustración 43. Vista aérea del tapón de Chapina en su situación previa a la ejecución de la obra del puente y desaterramiento.

El puente sería construido en seco a nivel del terreno colindante y posteriormente se ejecutaría el desaterramiento del cierre de Chapina. El mayor desnivel existente entre la parte inferior de los arcos y el terreno que formaba el tapón de Chapina no llegaba a los cinco metros de distancia, por lo que no se producirían grandes diferencias entre las tareas realizadas en el taller y las mismas tareas realizadas en la obra.

2.3.2 Criterios constructivos.

El proceso constructivo seguido para la ejecución de la obra estuvo guiado por ciertos criterios iniciales que rigieron las diferentes fases de construcción. Se pudieron diferenciar ocho criterios constructivos para la ejecución de la obra, éstos fueron los siguientes:

1. El puente sería dividido en dos partes de gran tamaño que serían fáciles de transportar y así minimizar el número de uniones en obra.
2. Se aprovecharían las ventajas de construcción en seco y al mismo nivel que el terreno colindante con el fin de disminuir el número de uniones atornilladas.
3. El puente sería construido biarticulado dado a los problemas de esfuerzos que generarían los cambios de temperatura.
4. Se disminuiría en la medida de lo posible los valores de los momentos negativos del tablero sobre los pilonos.
5. Ante la necesidad de resistencia del propio peso se tomaría en consideración la colaboración arco y tablero.
6. La estructura se precargaría y empotraría para dividir los esfuerzos que conllevaría la carga viva siempre que el ritmo de la obra lo permitiera.

7. Se mantendría un control continuo durante todo el proceso constructivo por las dificultades y problemáticas de la obra.
8. El cubreaceras sería desmontable y éste se instalaría al final de la obra cuando el ensayo en túnel aerodinámico hubiese demostrado la viabilidad de la construcción.

2.3.3 Proceso constructivo.

El proceso constructivo de la obra fue dividida en varias etapas, cada una de ellas se puede identificar por una tarea principal durante el avance de la obra.

1. La primera tarea a abordar fue la construcción de los cimientos mediante la ejecución de los respectivos recintos aislados (ver Ilustración 44). En primer lugar se excavó el terreno donde se situarían las pantallas de las cimentaciones mediante el empleo de lodos bentoníticos hasta el estrato de margas, las dimensiones de las pantallas fueron de un metro de espesor y sesenta metros de perímetro.

Para facilitar la labor de trabajo autoportante de las pantallas como ménsulas se rellena con hormigón sumergido hasta una profundidad que lo permita.

Instaladas las pantallas el terreno que quedó confinado en el interior de las pantallas doce metros de profundidad de fango y seis metros de profundidad de gravas consecutivamente fue dragado. Posteriormente el recinto apallantado fue relleno con hormigón compactado y curado mediante el procedimiento de inundación desde la cota -1 hasta la cota -9.

Para terminar las cimentaciones se procedió al relleno de la parte superior de la zapata mediante hormigón de mejor calidad ya que esta zona albergaría la red de galerías que darían acceso al interior de los arcos donde se encontrarían las instalaciones y los servicios de tuberías, conductos de servicios.



Ilustración 44. Imagen de las cimentaciones realizada durante sus ejecuciones en la que se aprecia las pantallas y el recinto interior.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

2. La segunda tarea consistió en construir los arcos del puente, ésta inició en su fase de taller (ver Ilustración 45). En Avilés se montaban los elementos en los que había sido dividido el tablero del puente y posteriormente en Sevilla se montaban las nueve dovelas que componían cada arco. En el taller se ejecutaba el proceso de rigidizar las articulaciones mediante tornillos.

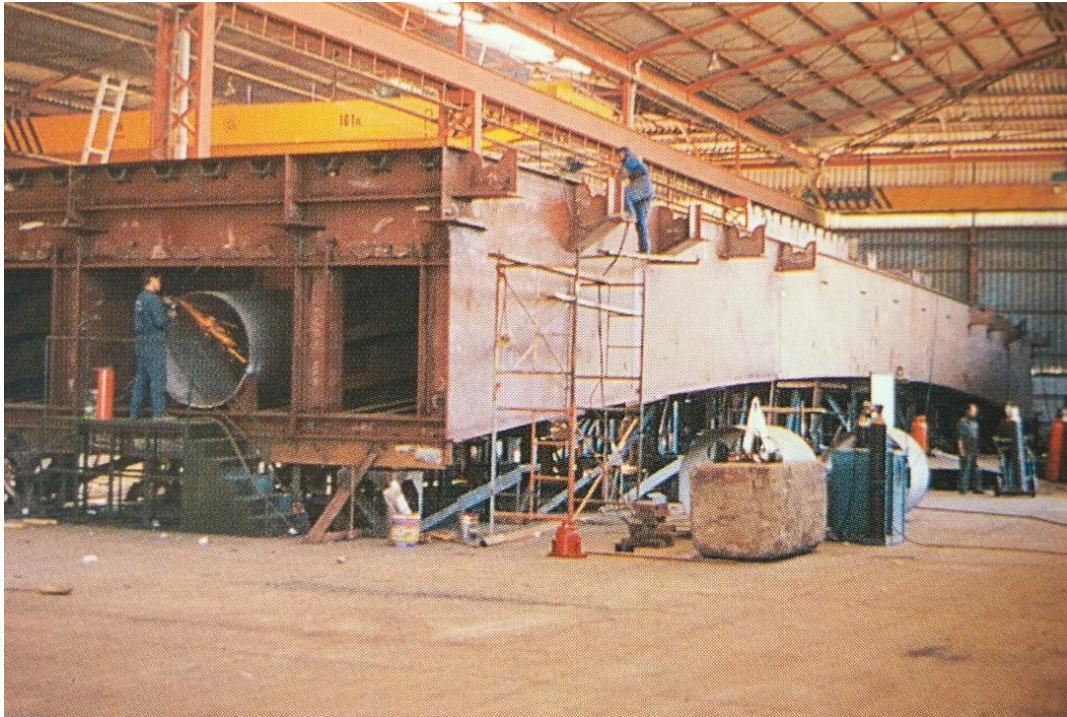


Ilustración 45. Imagen del montaje de los arcos del puente en taller.

Cuando estos elementos del arco llegaban al lugar de la obra eran acopiados en la gran plataforma del aterramiento. El proceso de montaje de los arcos realizado en la zona de aterramiento comenzó desde clave hasta los riñones apoyando las dovelas en unos pórticos metálicos, las posiciones de los elementos estructurales eran corregidas mediante gatos (ver Ilustraciones 46 y 47).



Ilustración 46. Vista lejana de la ejecución del puente durante la tarea de montaje de los arcos en obra.



Ilustración 47. Vista cercana de la ejecución del puente durante la tarea de montaje de los arcos en obra.

Los cuatro arcos paralelos fueron montados mediante uniones transversales y se mantuvieron apeados en posición definitiva. Las uniones se realizaron mediante el enlace

por tornillos de alta presión ubicados dentro de los mismos arcos y mediante las soldaduras en las alas y almas exteriores.

3. Una vez terminado el montaje de la estructura de arcos se procedió a construir la parte central del tablero sobre los arcos. Los techos y suelos pertenecientes a las células centrales del tablero fueron transportadas hasta la obra para ser perfiladas, atornilladas y soldadas.
4. Una vez contruidos los dos arcos se procedió al hormigonado de la zona superior de la cimentación donde se produce el contacto con el arco.
Justo después del hormigonado se prepararon los nuevos condicionantes del conjunto de servicios los estribos del puente mediante tuberías, válvulas y galerías que pasarían a través del puente por aquél lugar.
5. La etapa más complicada del proceso constructivo corresponde a la operación de conexión de los arcos con los cimientos (ver Ilustración 48). Dadas ciertas condiciones del proyecto se decidió ejecutar la estructura del puente con material metálico por las ventajas que ofrecía este material constructivo frente a otras opciones, esta decisión conllevó la complejidad más trascendente de la construcción del puente, los intervalos de alargamiento y acortamiento por las diferencias de temperatura.

La estructura metálica estaba sujeta a sufrir variaciones de temperatura que la alargaban y la acortaban (4 cm) cada día. Si se realizaba la unión de arcos y cimientos por la mañana el aumento de temperatura levantaría el arco y consecutivamente se introducirían los empujes horizontales de aproximadamente cinco mil toneladas. Si se realizaba la unión por la noche la bajada de temperatura se provocaría unas tracciones que arrancarían las rótulas del hormigón. Se hormigonó previamente al proceso de unión unas piezas metálicas de transición para tras quince días unir las por soldadura a los arcos.



Ilustración 48. Imagen de la tarea de unión de los arcos con los estribos laterales.

La mañana del seis de abril de 1991 comenzó el intenso trabajo de unión de los arcos a las piezas de apoyo correspondientes antes de que subiesen las temperaturas, sabiendo

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

que si el puente no llegaba a levantarse gracias a la acción del Sol habría que desaparecer manualmente todos los gatos para evitar las tracciones del enfriamiento. El resultado fue exitoso y la estructura comenzó a trabajar de manera que el cemento resistió el empuje de cinco mil toneladas sin problemas por lo que se pasó a controlar los movimientos de los estribos.

6. En el caso de un arco tan rebajado la sensibilidad a un desplazamiento horizontal debía controlarse por completo. Mediante el uso de las instalaciones de péndulo invertido y distanciómetro en cada uno de los estribos se obtuvo los resultados previstos de trece milímetros de movimiento. A partir de este momento la obra pudo continuarse sin mayores complicaciones puesto que la tarea más compleja había sido ejecutada con éxito.
7. Seguidamente se colocaron los pilonos y se tendió el tablero (ver Ilustraciones 49, 50, 51 y 52). En esta etapa se dio inicio a la continua auscultación de la estructura para controlar las posibles deformaciones y tensiones.



Ilustración 49. Primera vista de la estructura de arcos desde las el terreno que formaría las orillas del río.²¹



Ilustración 50. Segunda vista de la estructura de arcos desde las el terreno que formaría las orillas del río.

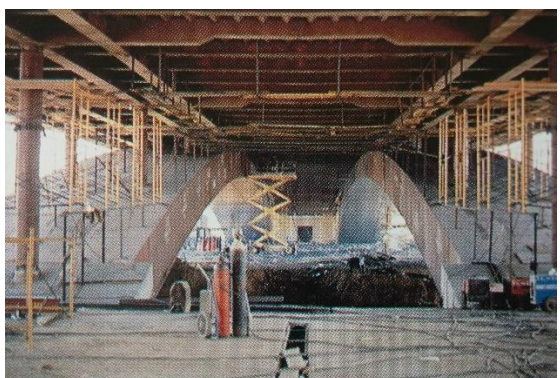


Ilustración 51. Tercera vista de la estructura de arcos desde las el terreno que formaría las orillas del río.

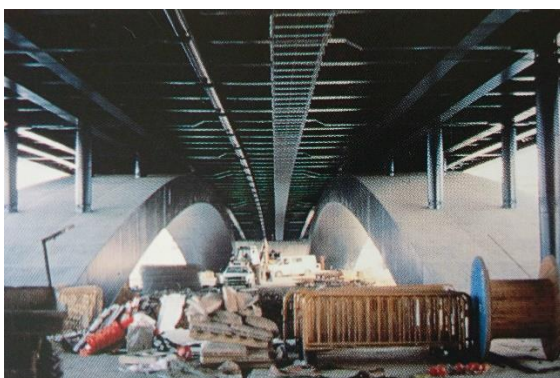


Ilustración 52. Cuarta vista de la estructura de arcos desde las el terreno que formaría las orillas del río.

8. Después se colocaron los mástiles del cubreraceras, se hormigonaron las aceras y se extendió el aglomerado.
9. Se colocaron la barandilla y el cubreaceras (ver Ilustraciones 53 y 54).

²¹ Imagen obtenida desde: Morales Padrón, M. P., «SEVILLA INSÓLITA,» 19 de Septiembre de 2014. Disponible online en: <http://sevilla-insolita.blogspot.com.es/2014/09/cinco-nombres-para-un-puente.html> (consultado el 07 de Febrero de 2018).



Ilustración 53. Vista aérea de la tarea de colocación del cubreaceras.



Ilustración 54. Vista en primera persona de la tarea de colocación del cubreaceras.

10. Se dedicaron varios meses a la pintura del puente (ver Ilustración 55).



Ilustración 55. Vista lateral del puente durante la tarea de pintura.²²

11. Finalmente, en el mes de septiembre se llenaron las tuberías de agua y se llevó a cabo una prueba de carga del puente ante situaciones estáticas y dinámicas en la que se utilizaron veintitrés camiones de cuarenta toneladas a la vez. El resultado obtenido de esta prueba fue una flecha máxima de cinco centímetros, un resultado satisfactorio del comportamiento del nuevo puente.

²² Imagen obtenida desde: Morales Padrón, M. P., «SEVILLA INSÓLITA,» 19 de Septiembre de 2014. Disponible online en: <http://sevilla-insolita.blogspot.com.es/2014/09/cinco-nombres-para-un-puente.html> (consultado el 07 de Febrero de 2018).

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Durante las mismas fases de pintado y pruebas de carga se fue desenterrando el cauce. Mediante esta tarea fueron apareciendo cada uno de los barcos que habían sido hundidos anteriormente para cerrar el río. También se restituyó el conjunto de servicios a través del nuevo puente.



Ilustración 56. Vista aérea del puente del Cristo de la Expiración tras su apertura y el desaterramiento del tapón de Chapina.

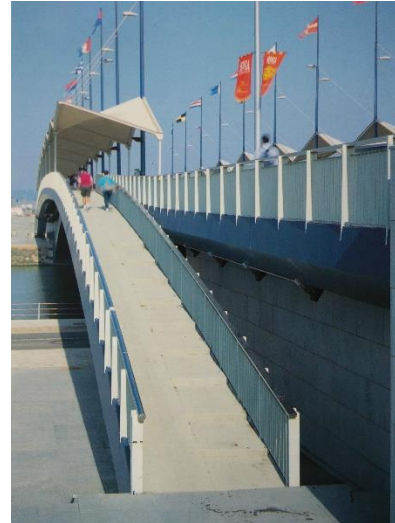


Ilustración 57. Vista en primera persona de los detalles estéticos instalados la Expo 92.

El veinticuatro de octubre de 1991 el puente se abrió al tráfico tras dos años de construcción y el veinte de diciembre de ese mismo año se abrió el paso fluvial dejando el tapón de Chapina en el pasado.



Ilustración 58. Vista del puente desde las orillas peatonales del río.

2.4 Actualidad.

Previamente se han abordado temas como la evolución del río Guadalquivir en Sevilla, los motivos que conllevaron a la ejecución del puente, las condiciones del proyecto, las necesidades que debía cubrir el nuevo puente, sus características técnicas y su proceso constructivo, por lo que tras toda la información consultada es necesario comparar la situación actual de la ciudad en relación a la ejecución del puente del Cristo de la Expiración frente a la situación previa a la retirada del aterramiento de Chapina.



Ilustración 59. Vista del puente del Cristo de la Expiración previa a la Expo 92.²³



Ilustración 60. Vista actual del puente del Cristo de la Expiración.

El nuevo puente del Cristo de la Expiración y las obras colindantes relacionadas con la Expo 92 tuvieron un gran éxito en el ámbito paisajístico de la ciudad. Sevilla había reorganizado su distribución urbanística, se había dado una nueva vida a la ciudad. El aterramiento había desaparecido y la nueva dársena otorgaba más kilómetros navegables y sus orillas habían sido adaptadas para que el peatón pudiese acceder al río a cualquier altura de la ciudad.



Ilustración 61. Vista actual de la relación entre el puente del Cristo de la Expiración, la dársena y Triana.

²³ Imagen obtenida desde: El foro Cofrade, «Obtenido de Fotos. El Ayer de Sevilla ! Página 40 ! El foro Cofrade,» 2 de Marzo de 2007. Disponible online en: <http://elforocofrade.es/index.php?threads/fotos-el-ayer-de-sevilla.4654/page-40> (consultado el 09 de Marzo de 2018).

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

La nueva vista del paisaje del centro histórico de la ciudad ya no estaría ensombrecida por un terreno formado por el cúmulo de escombros, con la retirada del tapón de Chapina había quedado una dársena navegable que sería visitada anualmente por miles de turistas entusiasmados por las maravillas de Sevilla. La zona colindante con el puente había sido revalorizada positivamente y las construcciones más recientes ejecutadas finalizaron pocos años atrás. Entre las últimas obras realizadas en las zonas próximas al puente destaca notablemente la Torre Sevilla, se trata del edificio más alto de Andalucía con una longitud de ciento ochenta metros y medio.



Ilustración 62. Vista del puente del Cristo de la Expiración y la Torre Sevilla tras la otra orilla de la dársena.

Gracias al acceso peatonal directamente a las orillas de la dársena cualquier persona a nivel usuario tiene la posibilidad de aproximarse al puente y pasar bajo su tablero. Durante esta visita al río bajo el mismo puente se pueden realizar fotos de la situación actual de su estructura y de ciertos detalles constructivos. Las imágenes revelan la buena conservación estructural del puente, la conservación de la pintura en las partes no accesibles por el peatón y ciertos cambios estéticos en las zonas accesibles por el peatón.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.



Ilustración 63. Vista actual de la unión arco - estribo.



Ilustración 64. Vista actual del puente desde su paso peatonal inferior.²⁴

El cambio que sufrió el entorno urbano de Sevilla fue consecuencia no sólo de la construcción del nuevo puente y la retirada del tapón de Chapina. La Expo 92 fue una Exposición Universal de Sevilla en 1992 de seis meses de duración que conmemoraba el descubrimiento de América para la cual se construyeron grandes infraestructuras cuyas finalidades han ido variando hasta la actualidad. Esta exposición mundial tuvo lugar en la Isla de la Cartuja, lugar que tiempo previo al año 1992 había estado apartado completamente de la ciudad. La incorporación de la Isla de la Cartuja a la ciudad necesito grandes intervenciones de infraestructuras que permitiesen trasladarse hasta el lugar, estas intervenciones generaron cambios radicales en Sevilla como se aprecia en las siguientes imágenes²⁵.



Ilustración 65. Vista aérea de la Isla de la Cartuja previa a la Expo 92.



Ilustración 66. Vista aérea actual de la Isla de la Cartuja.

Como se comentó anteriormente, una de las condiciones para ejecutar la obra del puente de Chapina fue trasladar las líneas e instalaciones de ferrocarril al norte de Sevilla. La nueva estación de ferrocarril se construyó en la zona de Santa Justa cambiando completamente el uso de la zona

²⁴ Imágenes obtenidas desde: Zapata, J. A., «Entrevista a D. José Luis Manzanares Japón - Estructurando,» 8 de Junio de 2015. Disponible online en: <http://estructurando.net/2015/06/08/entrevista-a-d-jose-luis-manzanares-japon/> (consultado el 07 de Febrero de 2018).

²⁵ Sánchez, J., «Así cambió Sevilla en el 92,» 20 de Abril de 2017. Disponible online en: http://www.diariodesevilla.es/sevilla/cambio-Sevilla_0_1128187841.html (consultado el 09 de Marzo de 2018).

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

de Plaza de Armas. Actualmente la estación de Plaza de Armas sirve como estación principal de autobuses y la estación de Santa Justa sirve como estación de trenes en la ciudad de Sevilla.

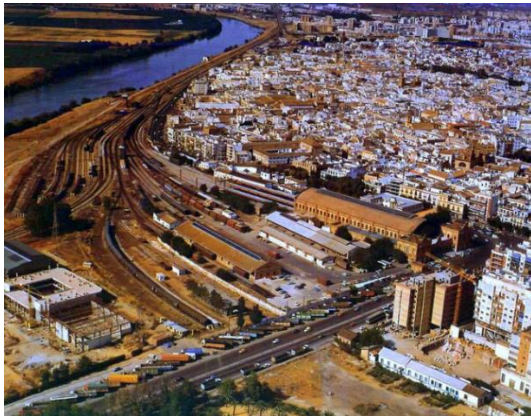


Ilustración 67. Vista aérea de la zona de Plaza de armas previa a la Expo 92.



Ilustración 68. Vista aérea actual de la zona de Plaza de armas.



Ilustración 69. Vista aérea de la zona de Santa Justa previa a la Expo 92.



Ilustración 70. Vista aérea actual de la zona de Santa Justa.

La calle Torneo también fue afectada directamente por el traslado de las líneas ferroviarias a Santa Justa.

Las líneas de ferrocarril que pasaban por esta calle impedían literalmente el acceso al río Guadalquivir, por lo que una vez las líneas fueron trasladadas se construyeron nuevas infraestructuras que recorrían la calle y permitían el acceso peatonal al turista hacia las orillas de la dársena.

Actualmente se conservan los accesos peatonales a la dársena y la población sevillana tiene la posibilidad de disfrutar las infraestructuras ejecutadas para la Expo 92.



Ilustración 71. Vista aérea de la calle Torneo previa a la Expo 92.



Ilustración 72. Vista aérea actual de la calle Torneo.²⁶

²⁶ Imágenes obtenidas desde: Sánchez, J., «Así cambió Sevilla en el 92,» 20 de Abril de 2017. Disponible online en: http://www.diariodesevilla.es/sevilla/cambio-Sevilla_0_1128187841.html (consultado el 09 de Marzo de 2018).

3 Proceso de diseño y modelado en Autocad.

Hasta ahora el presente documento ha consistido en el análisis detallado de la información encontrada sobre el puente del Cristo de la Expiración, siempre desde el punto de vista relevante para el ámbito de la ingeniería civil. Éste ha sido un proceso difícil puesto que a pesar de la juventud de la obra, no existe demasiada información publicada sobre los pormenores de la construcción del puente.

Una vez analizada toda la información recolectada es posible avanzar hacia el objeto principal del trabajo, el cual consiste en el diseño y modelado en Autocad del puente del Cristo de la Expiración. Para llevar a cabo el trabajo en Autocad se divide el proceso en tres partes principales fácilmente identificables, éstas son la búsqueda e identificación de planos que aportan información constructiva detallada del puente, las representaciones en 2D de las vistas en planta, longitudinal y transversales y la construcción del modelo del puente en 3D a partir de los planos realizados.

3.1 Búsqueda e identificación de información.

Este punto parte desde el inicio del trabajo dado que desde el primer momento está presente la intención de tener la posibilidad de visualizar y utilizar los planos constructivos del puente para incluirlos en el trabajo presente.

Debido a que actualmente la mayoría de información y registros documentales están disponibles para cualquier persona con acceso a internet la primera búsqueda realizada fue realizada a través de este medio. Al realizar la búsqueda en internet era posible encontrar mayormente noticias sobre aspectos como el desaterramiento previo del tapón de Chapina y la relación flecha – luz de 1/14. Detalles que justo tras su ejecución hicieron del Puente del Cristo de la Expiración una obra única ante la atenta mirada de los ingenieros de la época que no conocían un puente con las características de éste hasta aquél momento y de turistas procedentes de todo el mundo que llegarían a Sevilla para disfrutar de la EXPO 92.

Fue notable la escasez de información sobre detalles técnicos y constructivos acerca del puente en internet por lo que decidí optar por la búsqueda tradicional de libros que tuvieran este tipo de información acerca del puente.

Finalmente obtuve la información necesaria para poder realizar el modelo 3D del puente gracias a varios planos constructivos recopilados entre dos documentos utilizados. El primero de ellos es un libro llamado “Sevilla. Puentes del 92”, en el que se incluye un apartado dedicado al puente de Chapina, fue conseguido mediante contactos en la misma Escuela de Ingeniería. El segundo de ellos es un premio llamado “III Premio Internacional de Puente Alcantara” fue conseguido gracias a la oportunidad de poder presentarme en la Sede Central de la empresa AYESA fundada por el mismo José Luis Manzanares, situada a escasa distancia de la Escuela Técnica de Ingeniería en la misma Isla de la Cartuja.

Gracias a ellos pude recopilar tanto información, imágenes y planos inéditos ante la primera búsqueda en internet, la mayor parte de ellos utilizados en el presente trabajo.

3.2 Representaciones en 2D.

Entre los planos copilados en los libros nombrados anteriormente estaban los únicos planos encontrados en toda la búsqueda de información en los que se mostraban las vistas en planta,

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

longitudinal, y transversales del puente (ver Ilustraciones 73 y 74). A partir de estos planos se llevó a cabo una labor de redibujado de los mismos el programa AutoCad.

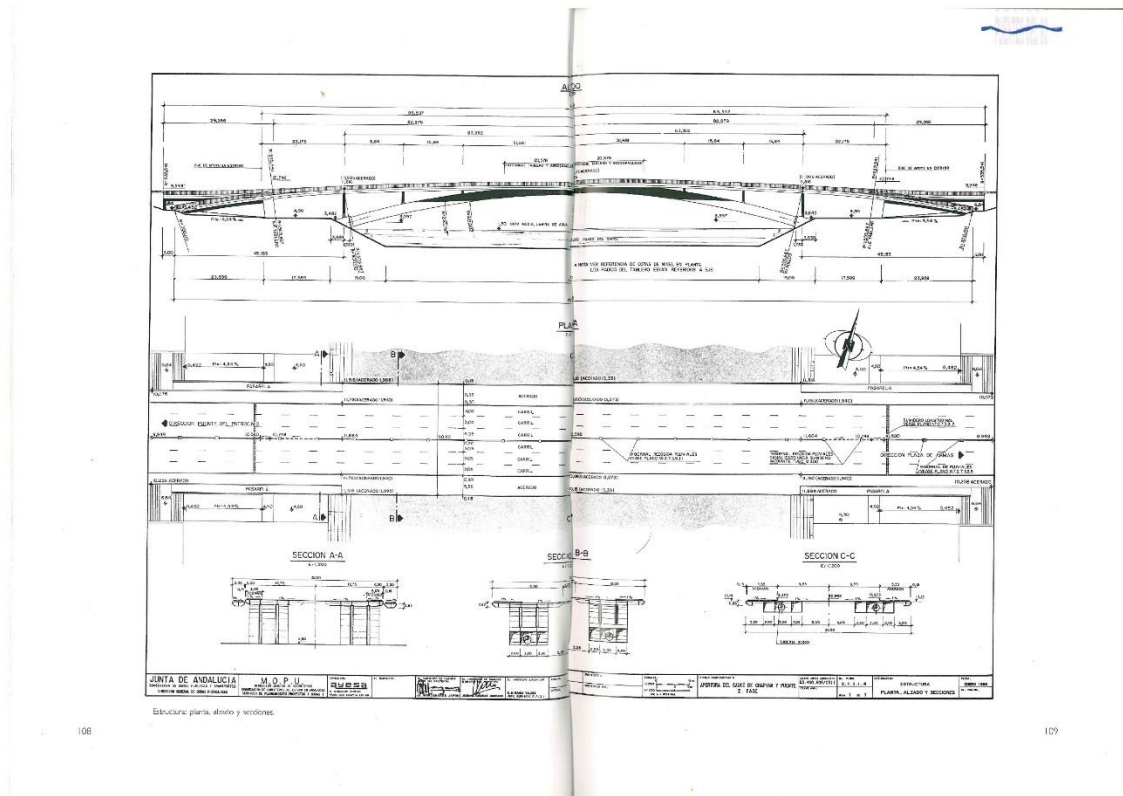


Ilustración 73. Vista de los planos longitudinal y en planta encontrados.

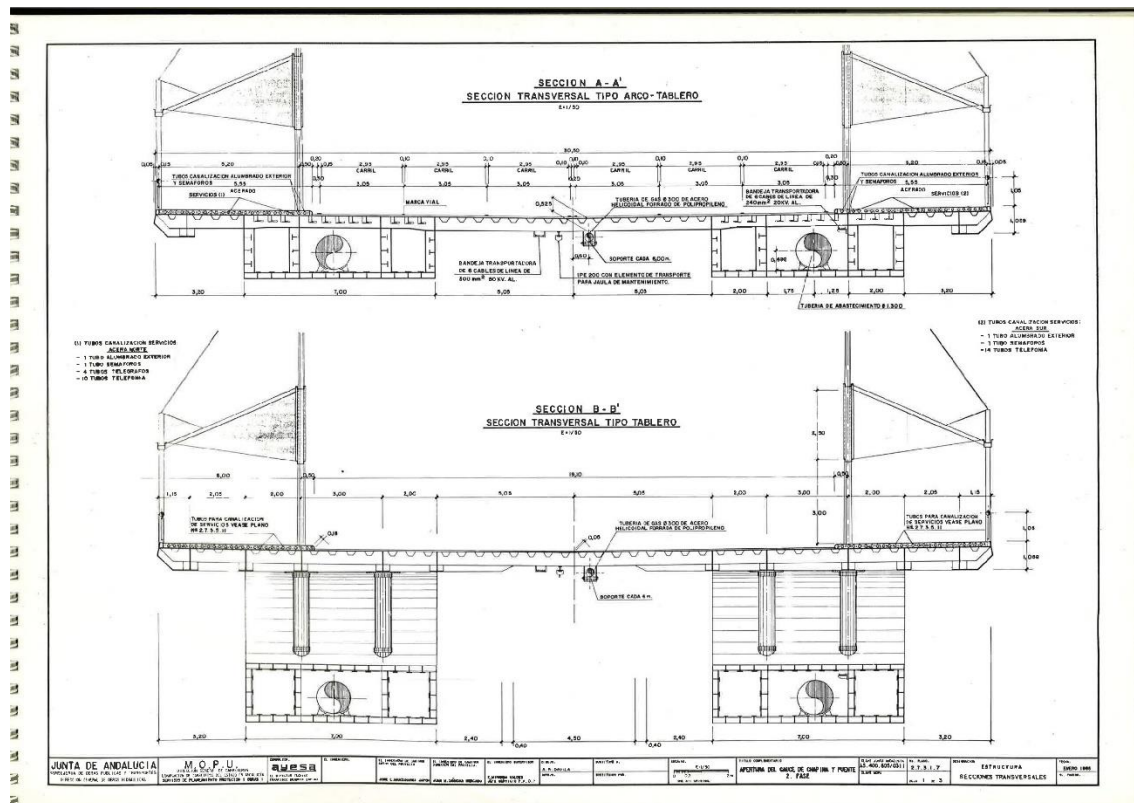


Ilustración 74. Vista de los planos transversales encontrados.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

A partir de las vistas anteriores se realizaron las representaciones 2D digitales en Autocad mediante la herramienta de insertar imagen. Una vez insertada la imagen se redujo o aumentó su tamaño para asemejar la imagen a la escala de dibujo. Seguidamente comenzó el proceso de dibujo sobre las imágenes que sirvieron de plantilla intentando realizar la nueva representación digital lo más semejante a los planos y a la información mostrada en ellos utilizando las medidas conocidas del puente: longitud, flecha, luz, ancho del tablero, etc (ver Ilustraciones 75, 76, 77 y 78).

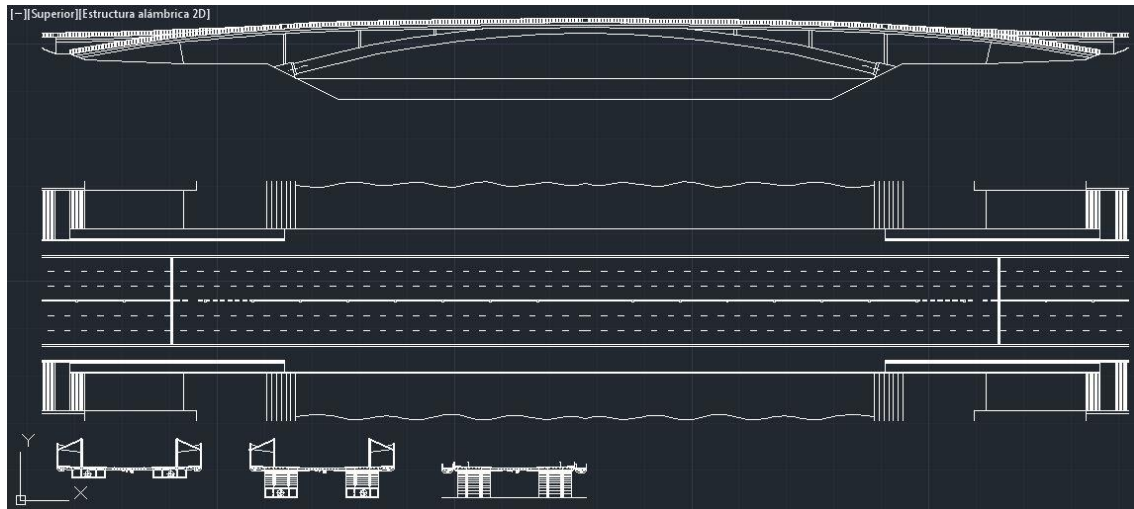


Ilustración 75. Vista general de todas las representaciones virtuales del trabajo.

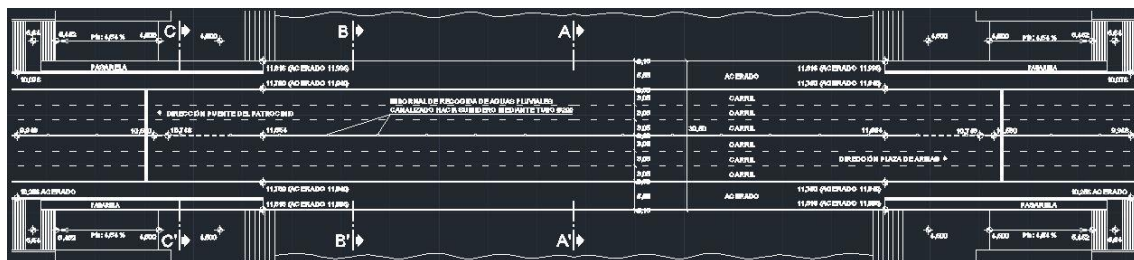


Ilustración 76. Vista de la representación virtual en planta del puente con cotas e información constructiva.

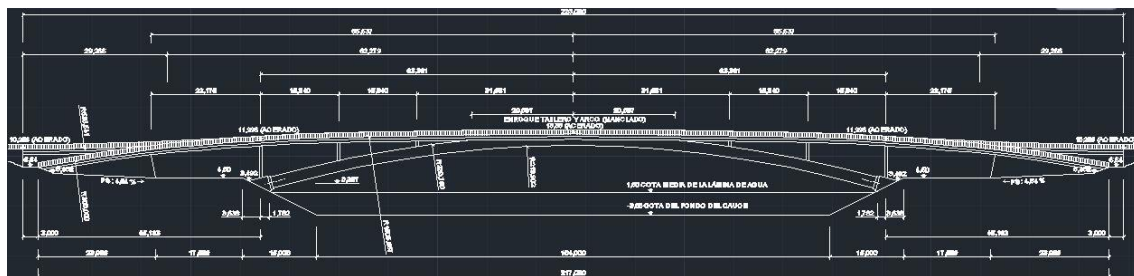


Ilustración 77. Vista de la representación virtual longitudinal del puente con cotas e información constructiva.

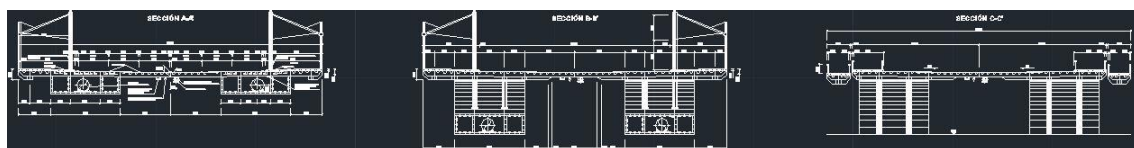


Ilustración 78. Vista de las representaciones virtuales transversales del puente con cotas e información constructiva.

Estas representaciones digitales en 2D serían la base necesaria para poder la construcción del modelo 3D que continúa.

Las representaciones de las vistas en planta y longitudinal del puente han sido elaboradas a la vez, pues la relación de los puntos comunes entre ellas facilitan en gran medida la labor del modelado 3D como se explica a continuación.

Las tres representaciones de las vistas transversales están correspondidas a los cortes A-A', B-B' y C-C' señalados en la representación en planta del puente.

3.3 Construcción del modelo 3D.

El proceso de construcción del modelo 3D es más largo y complejo que los dos puntos anteriores, debido a ello este proceso será explicado en varias fases consecutivas seguidas para llegar al resultado final del modelo.

3.3.1 Fase 1. Espacio en 3D.

La primera fase consistió en construir un espacio 3D dentro del archivo de trabajo de Autocad. El espacio 3D se construyó girando cada una de las representaciones 2D realizadas anteriormente, es decir, el espacio 3D creado con las representaciones correspondería con un espacio 3D en el que tres de sus lados corresponderían con las proyecciones del puente.

La representación en planta del puente quedaría proyectada en la cara inferior vista desde un punto de vista superior en el archivo de dibujo.

La representación longitudinal del puente quedaría proyectada en la cara frontal del dibujo, por lo que sería visto desde un punto de vista frontal en el archivo de dibujo.

Las representaciones transversales del puente quedarían proyectadas en la cara derecha vista desde un punto de vista a la izquierda del archivo del dibujo.

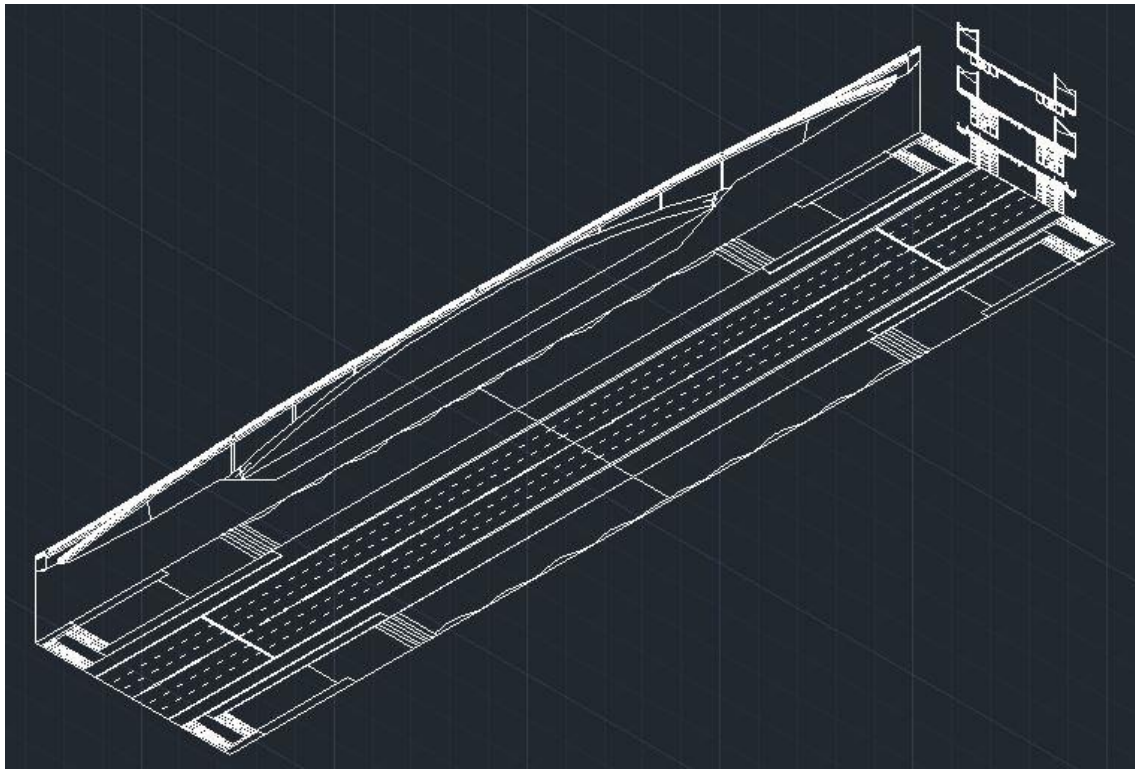


Ilustración 79. Vista del espacio 3D creado para la proyección de representaciones 2D.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Esta fase sirve para tener una previsualización espacial del puente antes de comenzar el proceso de modelado.

3.3.2 Fase 2. Figuras en 2D.

La segunda fase consistió en la construcción y/o selección de figuras en 2D sobre las proyecciones anteriores que servirían para posteriormente crear sólidos en Autocad mediante su comando “Barrido”.

Las dos primeras figuras en 2D a realizar fueron tanto la lámina de agua como el perfil transversal del cauce del río, con el lecho del mismo y los taludes de ambas orillas (ver Ilustración 80).

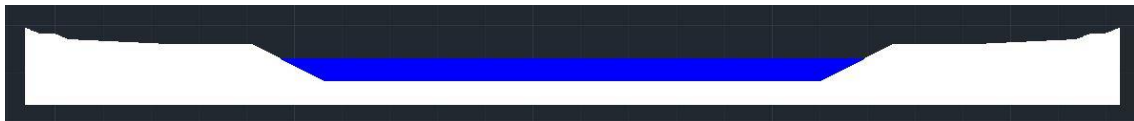


Ilustración 80. Figuras en 2D de la lámina de agua en azul y la superficie lateral e inferior inicial del terreno en blanco.

Seguidamente se realizan las figuras 2D que serán utilizadas posteriormente para modificar el sólido generado por la superficie lateral e inferior del terreno de la imagen anterior (ver Ilustración 81).

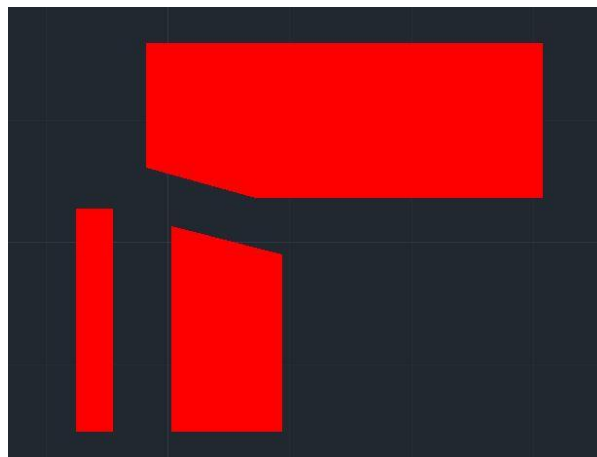


Ilustración 81. Figuras en 2D de que serán utilizadas con la de modificar el sólido de la superficie del terreno inicial.

Se crean las superficies transversales del mismo puente a las cuales no serían barridas dándoles una profundidad correspondiente sino sobre una línea curva en el espacio. Como existen diferentes tramos a lo largo del puente, en función de la distribución de elementos que lo componen, es necesario crear distintas superficies transversales, cada una con su línea curva de barrido correspondiente (ver Ilustraciones 82, 83 y 84).



Ilustración 82. Figura en 2D de la sección transversal de tablero correspondiente a la parte central del puente donde no están divididas las aceras.



Ilustración 83. Figura en 2D de la sección transversal del tablero correspondiente a las partes laterales del puente donde sí están divididas las aceras.

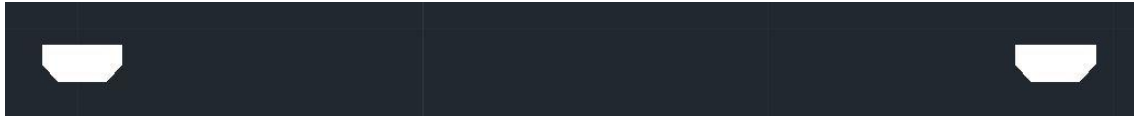


Ilustración 84. Figura en 2D de la sección transversal de las aceras correspondientes a las partes laterales del puente donde sí están divididas las aceras.

La parte superior del puente a la cual pertenecen el tablero, la carretera y las aceras puede realizarse mediante el barrido de las superficies anteriores. La parte inferior del puente compuesta por los arcos estructurales del mismo.



Ilustración 85. Figura en 2D de las secciones transversales para crear los arcos estructurales del puente.

La razón por la cual existen varias secciones transversales, superior e inferior, para cada uno de los arcos del puente es porque las partes superior e inferior del arco están formadas con un radio diferente. Por esta razón se realizan barrerán con distintos radios y posteriormente unidos para formar un único sólido (ver Ilustración 85).

3.3.3 Fase 3. Creación de sólidos.

La tercera fase consistió en la ejecución de sólidos a partir de las secciones definidas en el punto anterior. El comando utilizado para dar dimensiones a los sólidos fue el llamado “Barrido” nombrado anteriormente, y posteriormente las operaciones booleanas (unión, diferencia e intersección) de la edición de sólidos una vez barridos.

Con las funciones nombradas se crearon tres sólidos, uno de ellos correspondiente a la plataforma sólida sobre la que se apoya el puente y la dársena, otro de ellos la lámina de agua de la dársena y el último de ellos un primer modelo del puente al cual le faltarían ciertos elementos constructivos como los pilares, el cubreaceras y los estribos en los cuales se apoyan los arcos.

En primer lugar se crearon los sólidos correspondientes a la lámina de agua y a la plataforma barriendo cada una de las superficies (ver Ilustración 86).

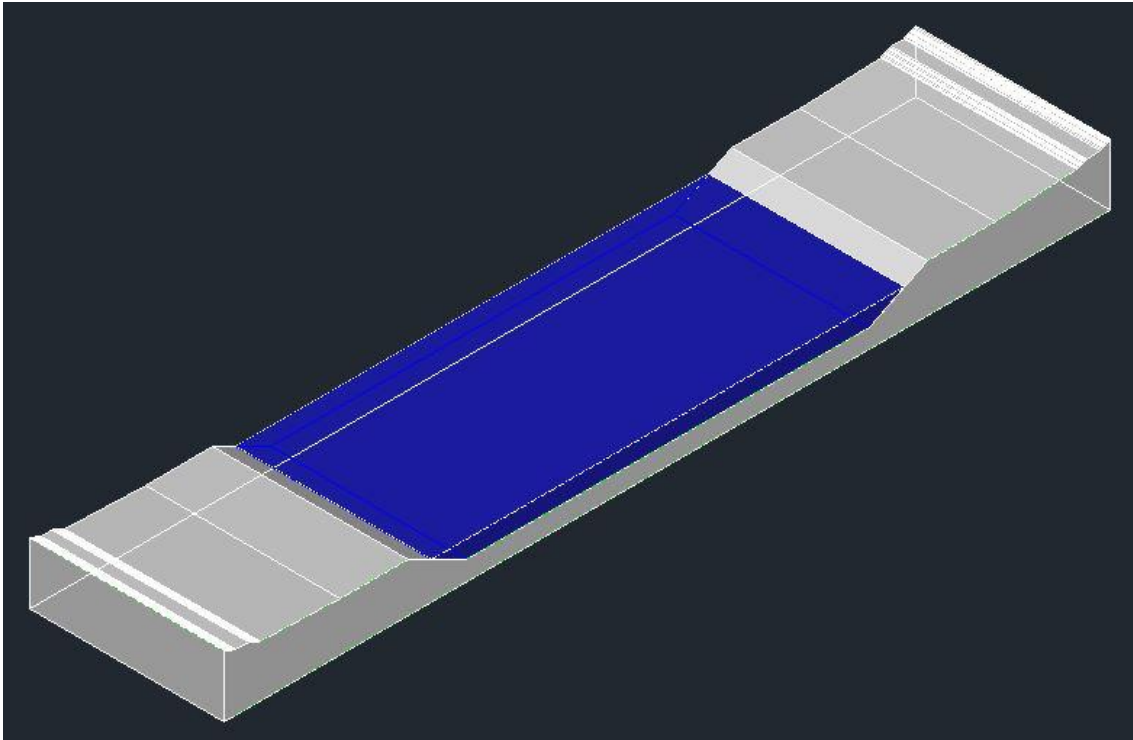


Ilustración 86. Vista isométrica de la lámina de agua y la plataforma inicial del modelado 3D.

Una vez creada la plataforma inicial, ésta se edita mediante los demás sólidos con la finalidad de modificar las escaleras de bajada al paseo (ver Ilustración 87).

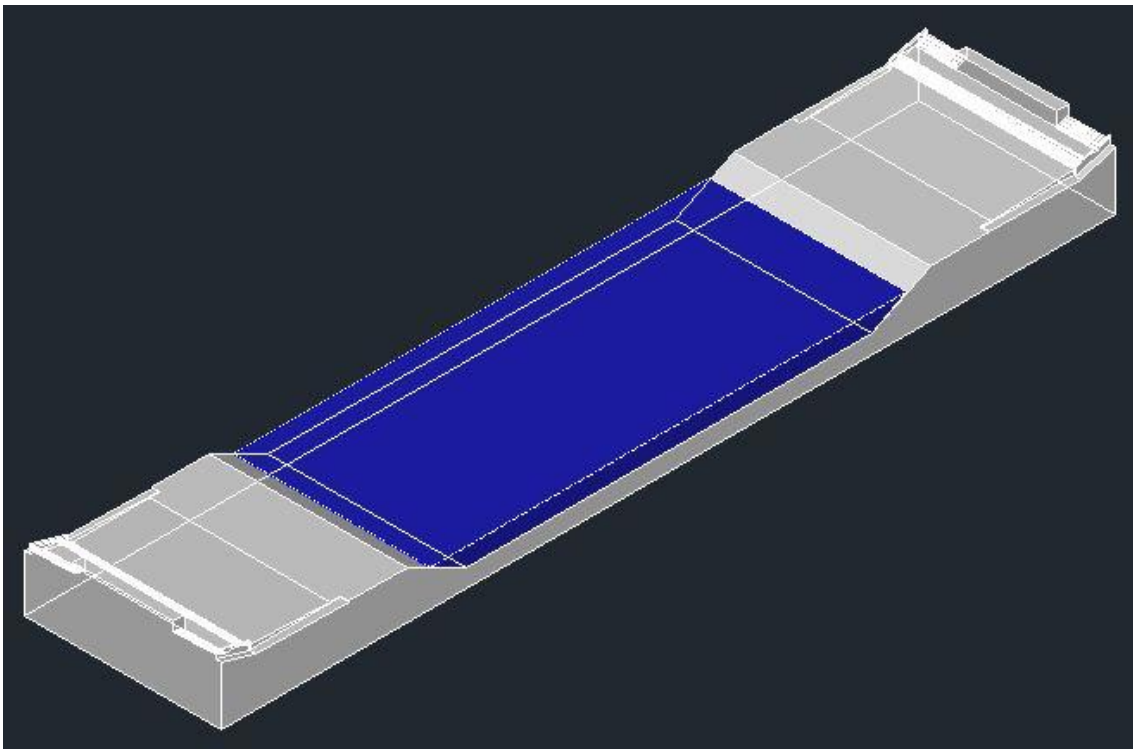


Ilustración 87. Vista isométrica de la lámina de agua y la plataforma tras editar el sólido del modelado 3D.

Las modificaciones nombradas en los extremos del sólido de la plataforma no son claramente visibles con la vista isométrica del sólido en general. En la siguiente imagen que se muestra se

puede apreciar tanto los detalles de las escaleras de bajada como el espacio necesario para el tablero del puente.

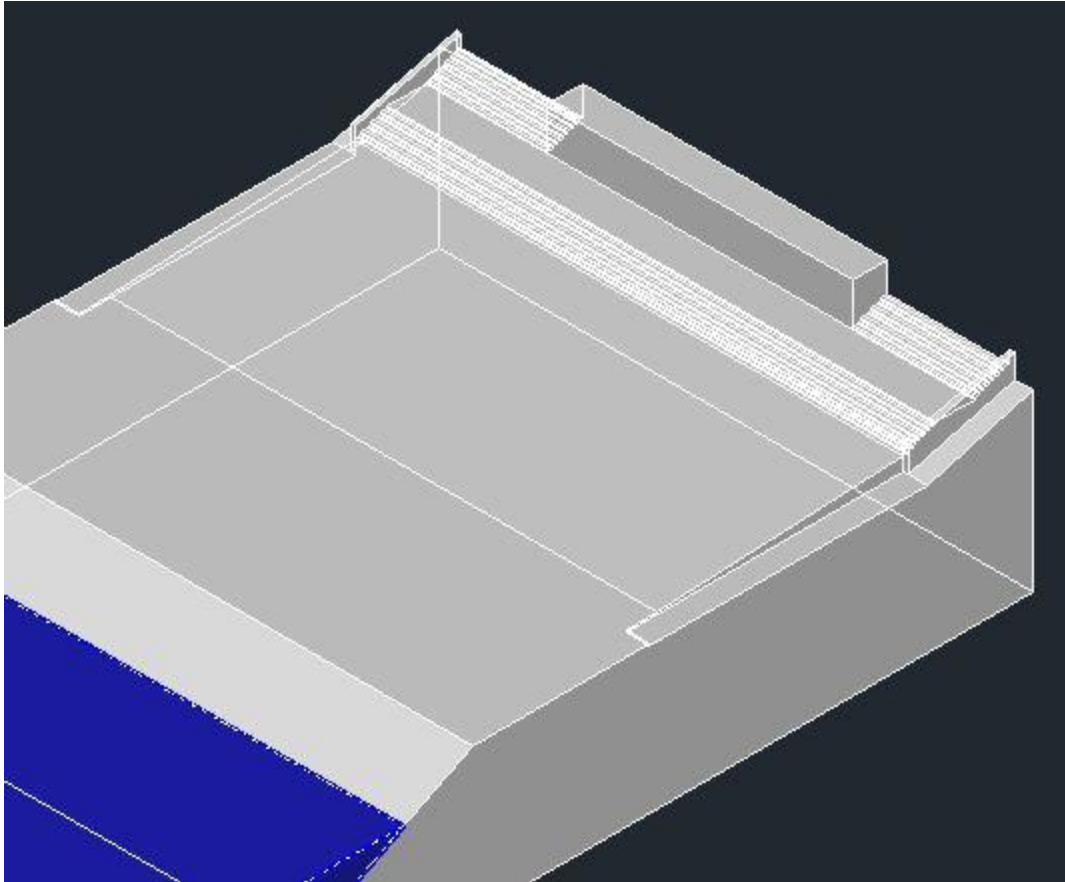


Ilustración 88. Vista isométrica en detalle de la plataforma tras editar el sólido del modelado 3D.

La imagen de arriba muestra una forma provisional de la plataforma la cual será modificada posteriormente en la zona media de la escalera inferior, la más cercana al río, ya que la zona de apoyo del tablero proveniente del puente se extiende hacia el mismo.

El siguiente sólido a crear es el puente, el cual está dividido en varias partes a tener en cuenta.

En primer lugar se realizó el tablero superior por donde transcurre tanto la carretera central como las aceras laterales. Se muestra a continuación los diferentes sólidos creados mediante barrido de secciones para su creación.

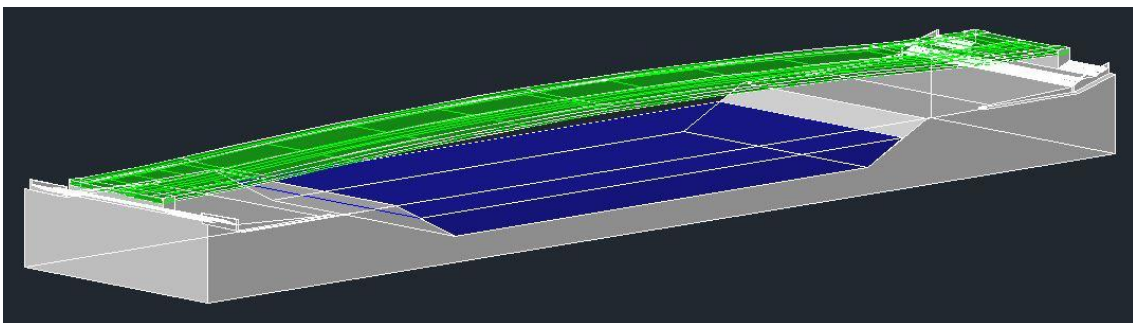


Ilustración 89. Vista de la primera parte superior del puente en relación a la lámina de agua y el terreno.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

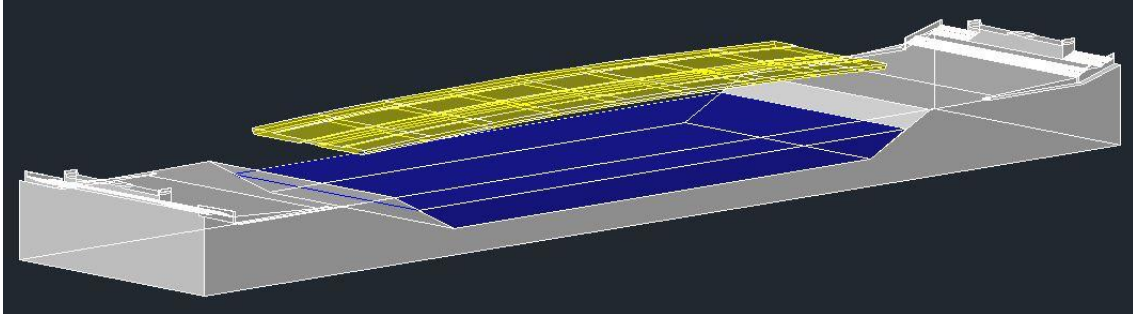


Ilustración 90. Vista de la segunda parte superior del puente en relación a la lámina de agua y el terreno. Esta parte sólo se extiende por la zona central del puente donde las aceras no están divididas.

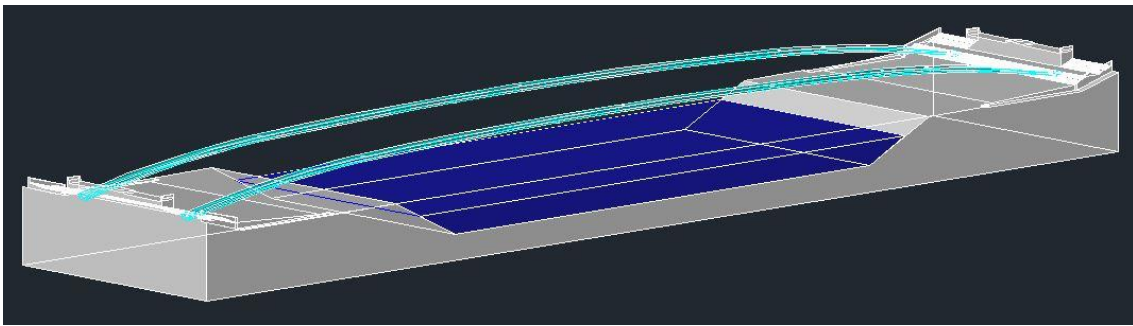


Ilustración 91. Vista de la segunda parte superior del puente en relación a la lámina de agua y el terreno. Esta parte sólo se extiende por la zona lateral del puente donde las aceras si están divididas.

En segundo lugar se procede a realizar los arcos del puente con las secciones antes mostradas. Fue necesario barrer dos superficies que posteriormente se unirían como un solo sólido, quedando como resultado los arcos estructurales del puente.

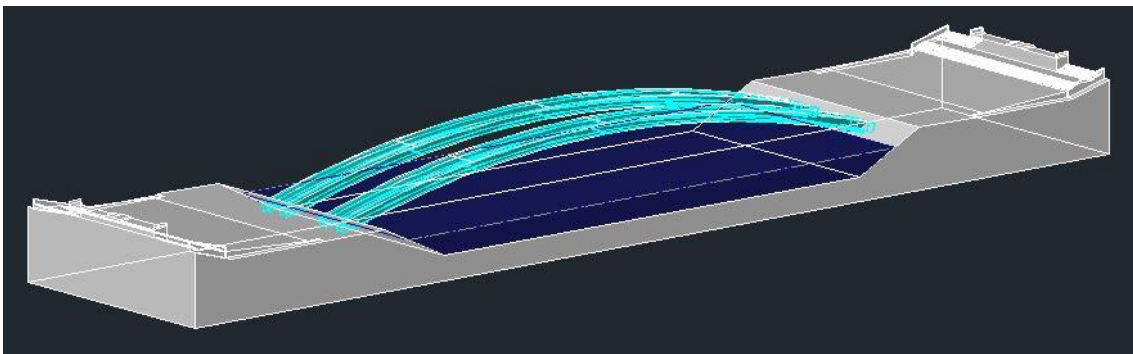


Ilustración 92. Vista de la parte inferior del puente en relación a la lámina de agua y el terreno. Esta parte se corresponde con los arcos estructurales del puente.

Antes de pasar a la unión de las distintas partes del puente para la formación de un solo sólido se finalizó la morfología del terreno. Para ello se termina de realizar la plataforma de apoyo del tablero superior modificando la parte central de las escaleras inferiores de acceso al río (ver Ilustraciones 93, 94 y 95).

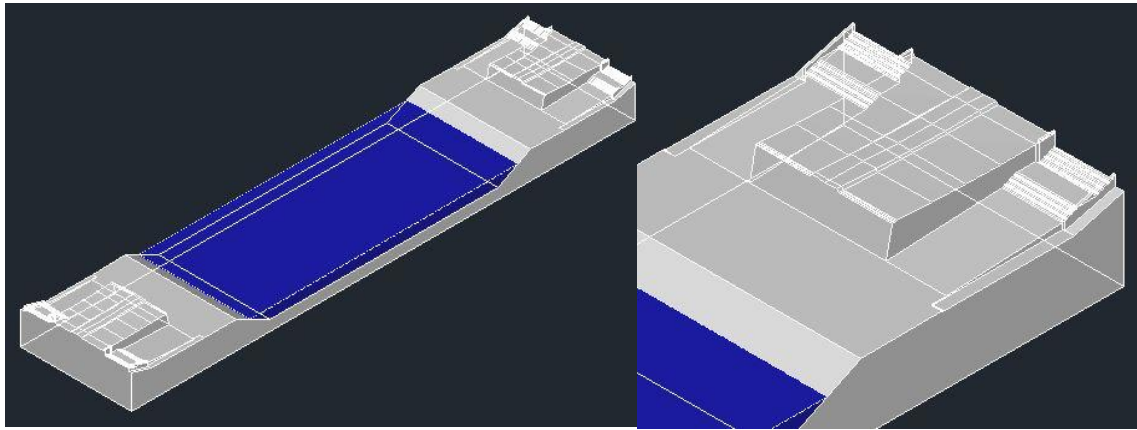


Ilustración 93. Vista isométrica general del modelo 3D final del terreno y la lámina de agua.

Ilustración 94. Vista isométrica del detalle del modelo 3D final del terreno.

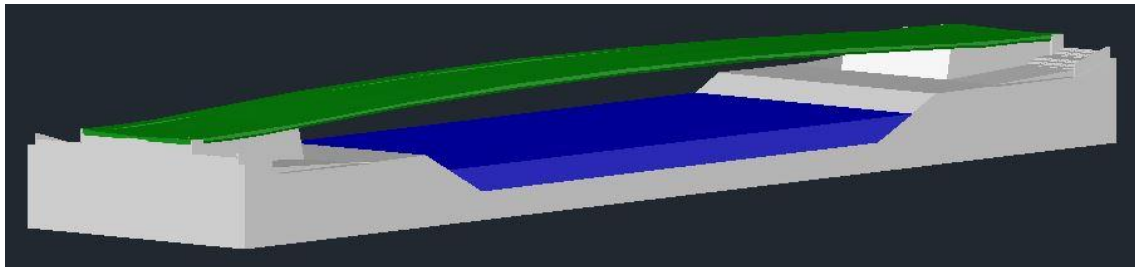


Ilustración 95. Vista del modelo 3D final del terreno en relación a la lámina de agua y el primer tramo de puente realizado.

Una vez definidos los distintos sólidos que componen tanto la parte superior como inferior del puente se procede a la unión de ellos y la eliminación de las partes del puente que estén comprendidas dentro del terreno. Es necesario hacer este último paso de la eliminación de los sólidos pertenecientes al puente que están contenidas dentro del terreno dado que las líneas de barrido de las secciones transversales del puente siempre se han prolongado más de su límite según el plano longitudinal para que no se diese el caso de falta de sólido del puente antes de llegar al terreno.

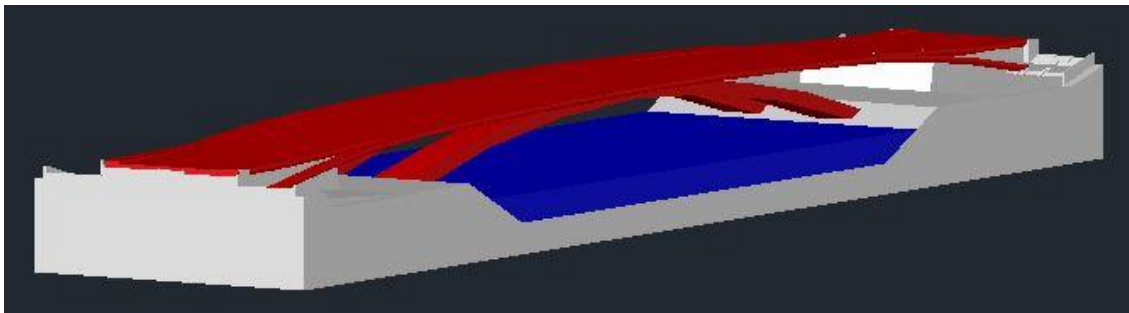


Ilustración 96. Primera vista del modelo 3D inicial del puente, la lámina de agua y el terreno.



Ilustración 97. Segunda vista del modelo 3D inicial del puente, la lámina de agua y el terreno.



Ilustración 98. Tercera vista del modelo 3D inicial del puente, la lámina de agua y el terreno.

Con las tres últimas imágenes queda visible el modelo 3D del puente del Cristo de la Expiración realizado a falta de ciertos elementos descritos anteriormente en el trabajo presente. Los elementos que faltan se abordarán en los siguientes puntos.

3.3.4 Fase 4. Elementos particulares.

Se han tomado como elementos particulares del puente partes de éste de las que no existe información específica en cuanto a dimensiones en los planos ni en la bibliografía. La información conocida de ellos es meramente descriptiva por lo que tomando estos datos de referencia se ha continuado con el modelado 3D del puente con la finalidad de asemejarlo lo más posible a la realidad. Se establece así cuatro elementos particulares del puente que son necesarios modelar, los estribos, las barandillas, los mástiles y los cubreaceras.

3.3.4.1 Estribos.

El primer elemento particular a realizar se trata de los elementos de unión entre los arcos estructurales del puente y el terreno. Estos elementos son estribos los cuales tienen la condición de que sus superficies de contacto con los arcos sean perpendiculares a las curvas que los forman.

Para realizar los estribos se utiliza la representación longitudinal 2D del puente creada anteriormente en la que aparece la única referencia de los estribos disponible en dibujo. Partiendo de ella se diseña y modela un sólido que cumpla con la condición de perpendicularidad vista.

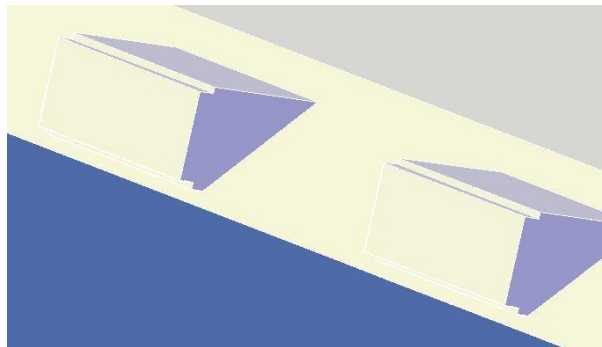


Ilustración 99. Vista del modelo 3D de los elementos de unión entre los arcos del puente y el terreno.

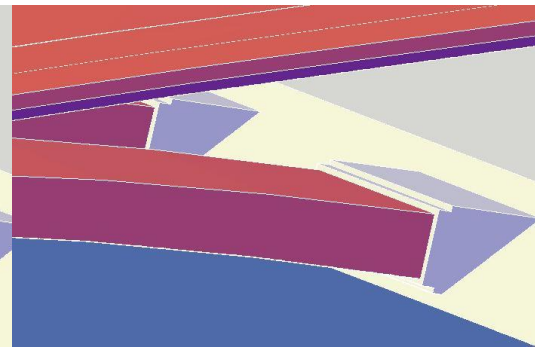


Ilustración 100. Vista del modelo 3D de los elementos de unión y el puente.

De ellos sólo se conoce el dato anterior de perpendicularidad y las ubicaciones de los cuatro elementos tal cual se ven en las imágenes.

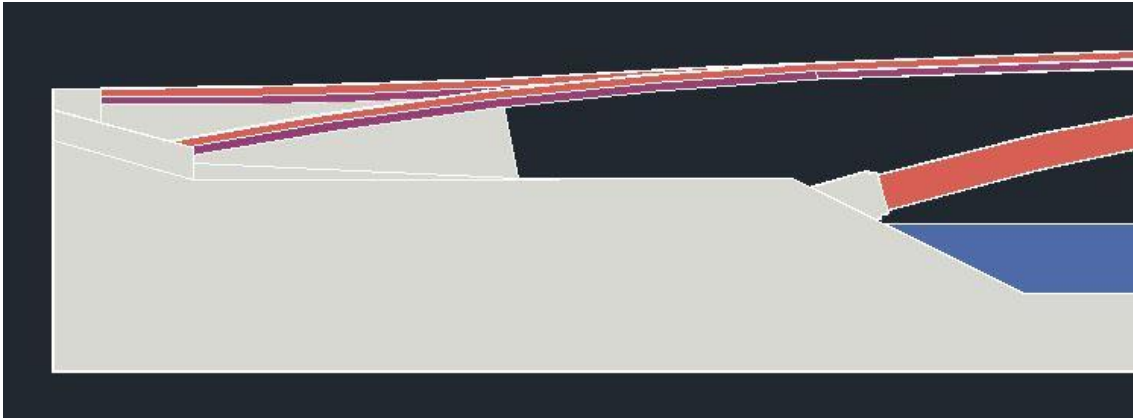


Ilustración 101. Vista frontal del lateral del puente en el que se muestra el conjunto del puente y la unión de sus arcos con el terreno.

3.3.4.2 Barandillas.

El segundo elemento particular a realizar son las barandillas. De ellas se conoce su ubicación a lo largo del puente y su altura de noventa centímetros sobre los límites laterales exteriores del acerado por ello se decidió recurrir al modelado de una barandilla de aspecto estándar para el modelado (ver Ilustraciones 102 y 103).

El primer paso para la construcción de las barandillas fue seleccionar cada una de las líneas curvas utilizadas anteriormente para el barrido de secciones transversales ya que las distribuciones de las barandillas siguen las mismas trayectorias sobre el puente.

El segundo paso fue construir la parte superior de las barandillas mediante la herramienta llamada “Barrido”, utilizada anteriormente en el punto de creación de sólidos. Con esta herramienta se barre la parte superior de las barandillas, la cual sirve de reposamanos para los usuarios del puente que tengan intención de visualizar la ciudad desde el río.

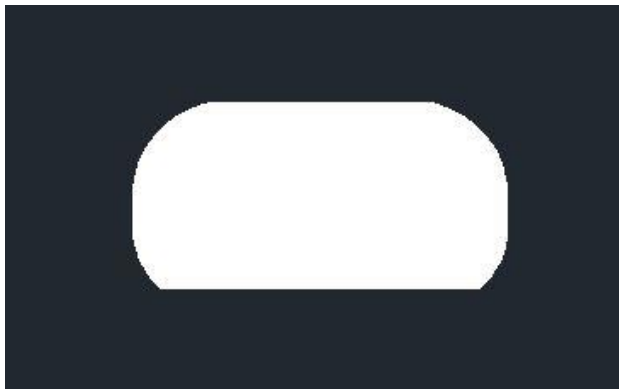


Ilustración 102. Vista de la sección transversal de la parte superior de las barandillas correspondiente al reposamanos.

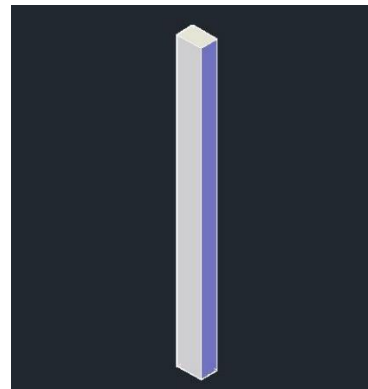


Ilustración 103. Vista del modelo 3D de los elementos que forman la parte inferior de las barandillas.

El tercer paso fue construir la parte inferior de cada tramo de barandilla. Esta parte ha sido generada en el modelo con elementos verticales repetidos, desde una vista longitudinal, desde el reposamanos en sus límites superiores, hasta el acerado en sus límites inferiores.

Para construir estas partes de las barandillas se recurrió a la herramienta llamada “Matriz de Camino” la cual permite generar una repetición de elementos a lo largo de la trayectoria (camino) (ver Ilustración 104).

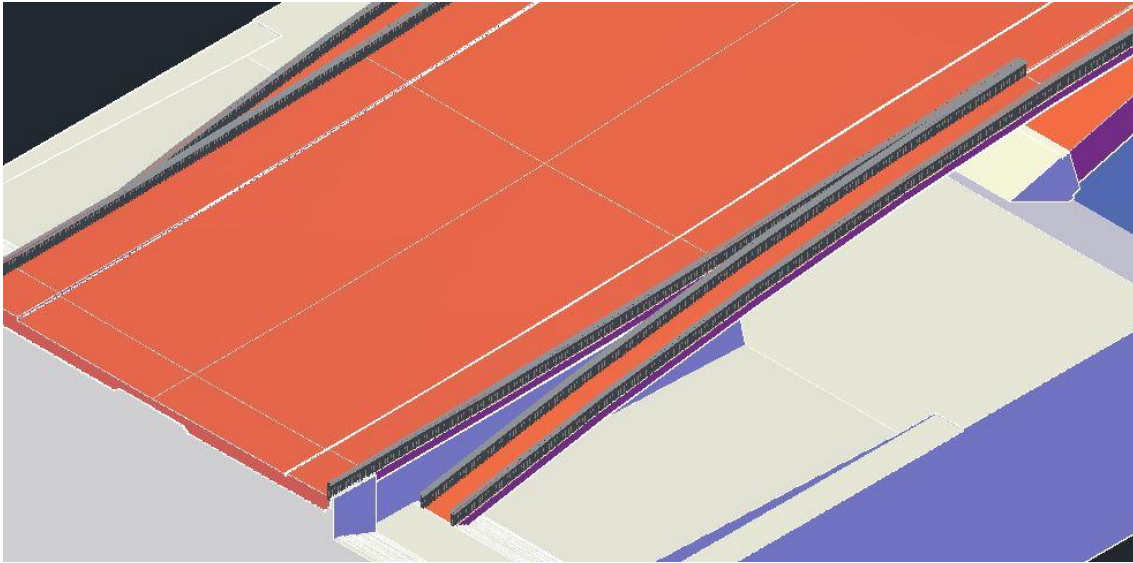


Ilustración 104. Vista isométrica general de las barandillas sobre el puente.

Esta herramienta permite editar la repetición de elementos sobre la trayectoria por lo que para intentar modelar el puente lo más semejante posible a la realidad se modificaron varios detalles de la matriz establecidas por defecto. La matriz de sólidos fue modificada para que éstos estuvieran orientados de manera vertical independientemente de sus posiciones, también fue modificada para que los elementos verticales estuvieran separados veinte centímetros entre sí (ver Ilustraciones 105 y 106).

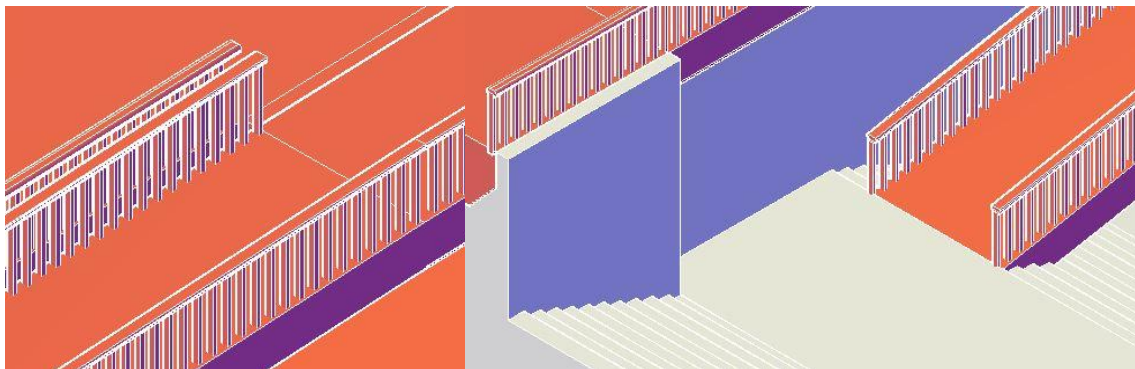


Ilustración 105. Vista isométrica del detalle de las barandillas en el punto de separación del acerado.

Ilustración 106. Vista isométrica del detalle de la unión del acerado del puente con el terreno.

3.3.4.3 Mástiles.

El tercer elemento particular a realizar son los mástiles, elementos de los cuales tampoco hay información detallada acerca de sus dimensiones. Para darles dimensiones ha sido necesario fijarse tanto en las distintas secciones transversales como en el plano longitudinal e ir probando diferentes vistas del modelo para asemejarlos a las imágenes reales del puente.

Antes de generar los sólidos se contabilizó el número exacto de mástiles por arco y se determinaron sus ubicaciones en el espacio 3D realizado al inicio del modelado.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Como visualmente los mástiles se dividen en una parte superior, que se alza sobre el tablero, y en una parte inferior, que van desde el tablero del puente hasta sus arcos, se procedió a generar dichas partes de manera individual.

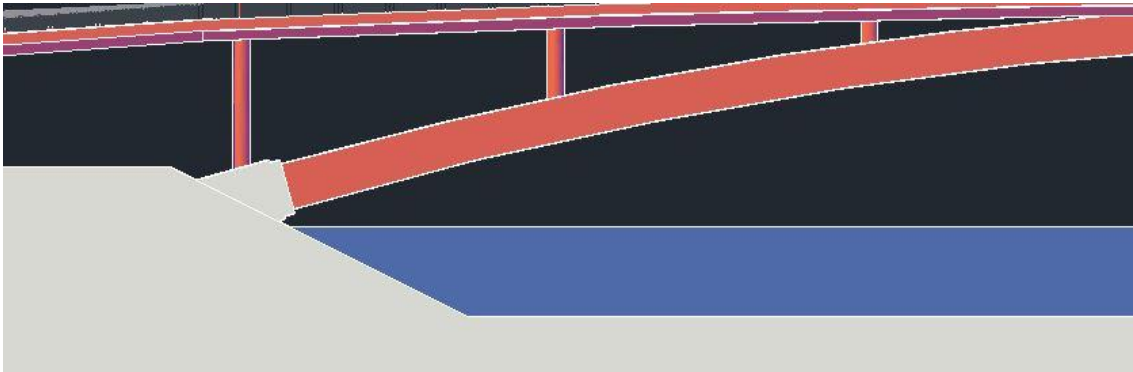


Ilustración 107. Vista frontal de la parte inferior de los mástiles sobre los arcos del puente.

La parte Inferior de los mástiles fue realizada como los sólidos creados anteriormente, mediante la función barrido y las herramientas contenidas en el apartado de edición de sólidos en Autocad (ver Ilustraciones 107 y 108).

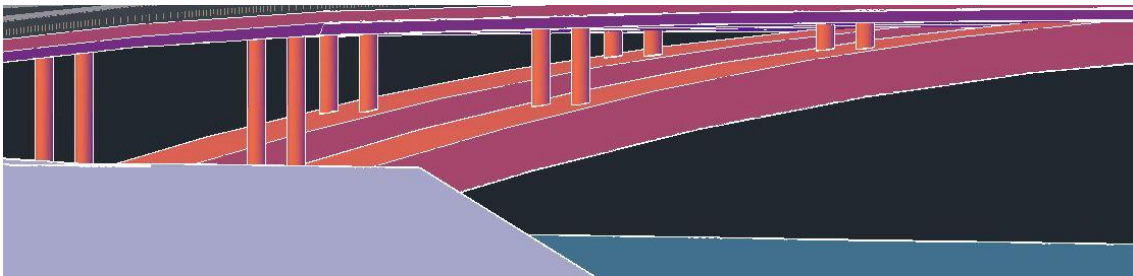


Ilustración 108. Vista oblicua de la parte inferior de los mástiles sobre los arcos del puente.

De la parte superior de los mástiles no se tiene información exacta excepto ciertas alturas relacionadas con la posición del cubreaceras por lo que se dimensionó como aparece en la siguiente imagen.

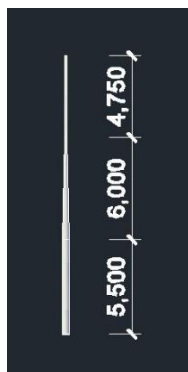


Ilustración 109. Vista del modelo de la parte superior del mástil común con dimensiones utilizadas.

El sólido del mástil se divide en tres tramos. El tramo situado en la parte inferior es un cilindro de cinco metros y medio con radio mayor al resto de los tramos. El tramo situado en la parte superior es otro cilindro de cuatro metros y setenta y cinco centímetros con radio menor frente a los otros tramos. El tramo situado en la parte intermedia de seis metros tiene una morfología troncocónica cuyos radios superior e inferior coinciden con las dimensiones adoptadas para los tramos superior e inferior.

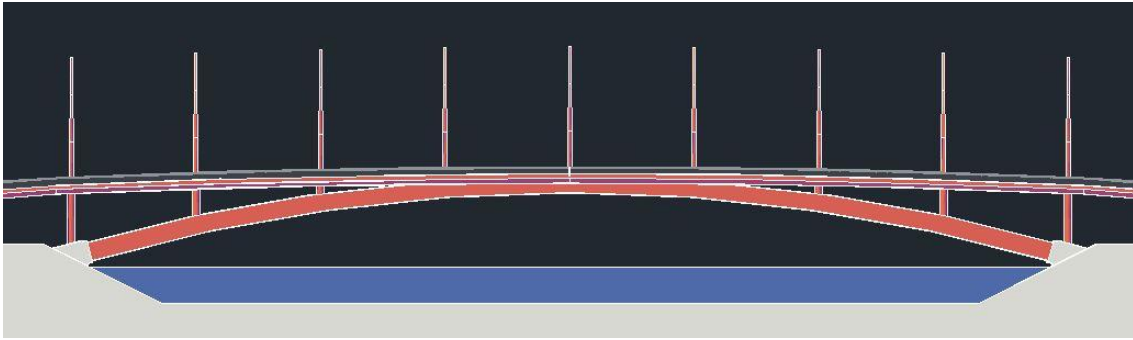


Ilustración 110. Vista frontal del puente con su serie de mástiles.

Realizar la parte superior de los mástiles de esta manera respeta las dimensiones mostradas en los planos de los que se parte el trabajo y facilita en gran medida el modelado de los cubreaceras. Las bases para realizar el cubreaceras parten de los puntos de intersección entre los distintos tramos de los mástiles.

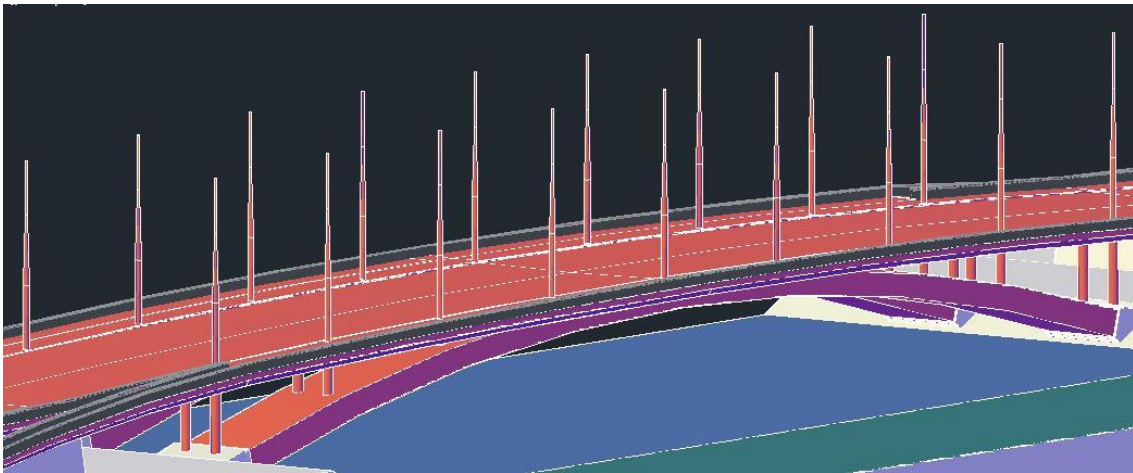


Ilustración 111. Vista oblicua del puente con sus mástiles.

3.3.4.4 Cubreaceras.

El cuarto y último elemento particular a realizar es el cubreaceras. Es el elemento que más llama la atención al turista dado que es el que más resalta a la vista. La morfología de paraboloides hiperbólicos del cubreaceras lo hace tan particular que hasta ha sido copiado en varias ocasiones.



Ilustración 112. Visión espacial del puente obtenida mediante Google Maps con su opción 3D.

Para tener una visión espacial de referencia más ajustada a la realidad de la morfología y distribución del cubreaceras en relación a los mástiles ha sido necesario visualizar el puente en la página web de Google Maps dentro de su opción 3D (ver Ilustración 112).

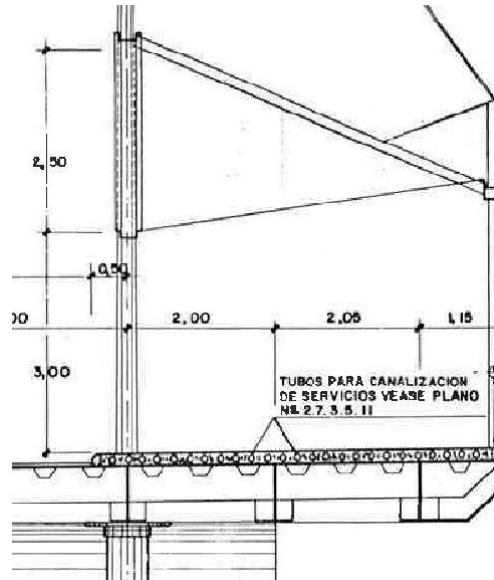


Ilustración 113. Imagen parcial de un plano transversal del puente en el que aparece un mástil y el cubreaceras.

Partiendo de las dos imágenes anteriores y la distribución de mástiles ya establecida comienza el modelado del cubreaceras.

Una vez conocida la distribución del cubreaceras en relación con los mástiles fue necesario trabajar sobre el espacio 3D del modelado en Autocad para establecer líneas sobre las que generar el toldo y crear los elementos sólidos sobre los que se apoya y sujeta el cubreaceras. Todo ello teniendo en cuenta las medidas definidas en el único plano relevante que relaciona mástiles y el cubreaceras.

El modelado del cubreaceras se realiza tras crear nuevos sólidos de formas cilíndricas, los verticales corresponden a las columnas que sirven de apoyo al cubreaceras y los oblicuos corresponden a las sujeciones de los cubreaceras por parte de los mástiles.

Para crear el cubreaceras se utiliza la herramienta de “Malla Reglada” dentro de la pestaña “Dibujo/Modelado/Mallas”. Esta herramienta permite crear una superficie a partir de dos elementos de dibujo, la superficie que crea esta herramienta está dividida por defecto en seis caras por lo que hay que aumentar este número de caras para aumentar la calidad del modelado. Se aumentó así el número de caras a treinta y seis mediante la función “SURFTAB1” y el valor “36” al introducirlos en la barra de comandos.

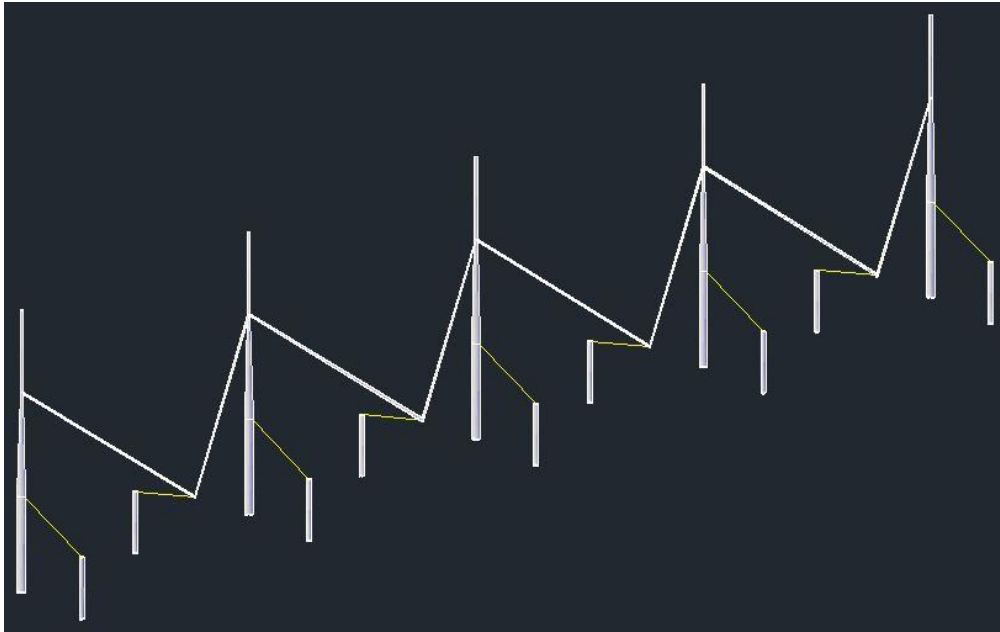


Ilustración 114. Vista isométrica del proceso del modelado del cubreaceras.

En este caso los elementos que definen las superficies regladas son las líneas rectas distribuidas entre los mástiles (ver Ilustración 114), utilizando la función de creación de mallas regladas el cubreaceras quedaría como aparece en la siguiente imagen.

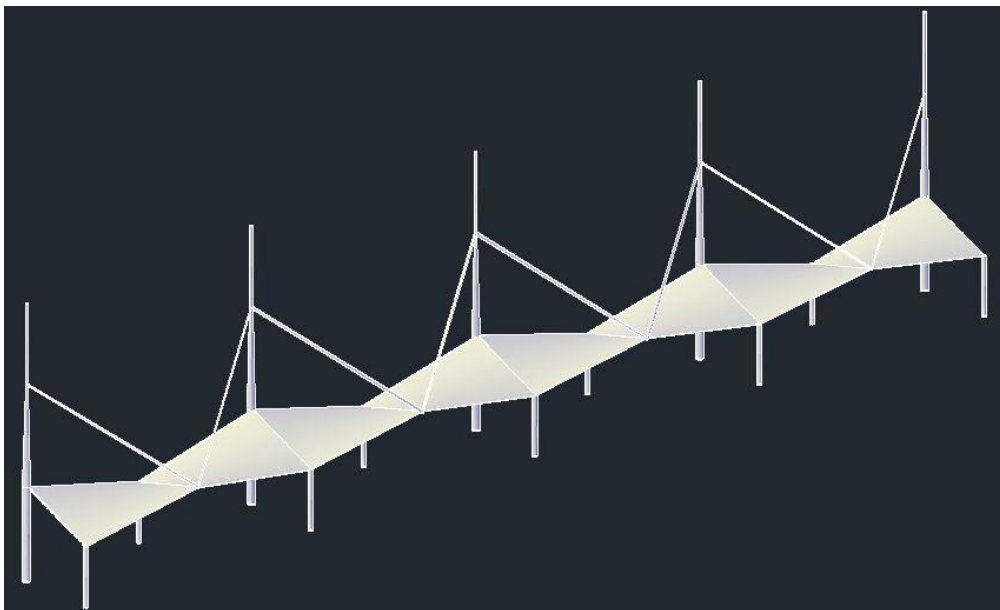


Ilustración 115. Vista isométrica del modelado del cubreaceras.

El modelo del cubreaceras quedó como se observa en la imagen anterior, de manera que mediante la herramienta de simetría se pueda trasladar a todo el puente.

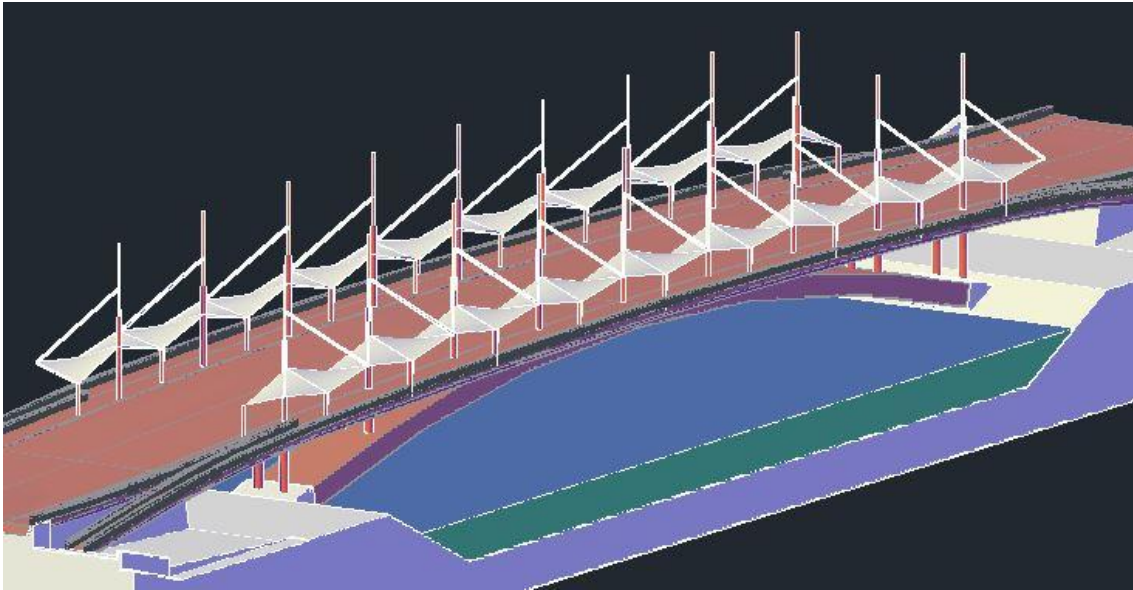


Ilustración 116. Vista del modelo 3D completo del puente donde se incluye el cubreaceras.

Finalmente quedó así el modelo 3D completo del puente a falta del renderizado.

3.3.5 Fase 5. Renderizado.

Teniendo la estructura completa del modelado 3D realizada se procedió al último proceso del trabajo, el renderizado. El proceso de renderizado sirve para obtener representaciones de gran nitidez del modelo 3D del puente en las cuales cada sólido tiene un material propio asociado.

En primer lugar se asoció diferentes materiales a los sólidos del modelo mediante la herramienta de “Ver/Render/Explorador de materiales”. La distribución de materiales fue: un material para el sólido del agua, otro material para el sólido del terreno, otro material para los sólidos que forman el puente, y otro último sólido para el cubreaceras.

Posteriormente se fueron creadas cinco cámaras dentro del archivo de Autocad. Estas cámaras fueron posicionadas en lugares clave para obtener unas representaciones óptimas por parte del programa (ver Ilustración 117).

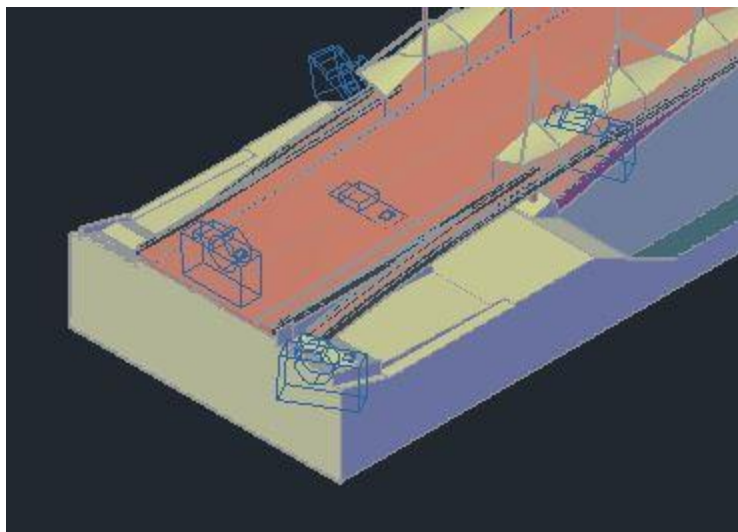


Ilustración 117. Vista isométrica del posicionamiento de las cinco cámaras sobre el modelado del puente.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

La intención de este punto es poder obtener representaciones del modelo realizado desde puntos de vista accesibles por el peatón en la realidad.

Dos de las vistas proporcionadas por las cámaras corresponden a posiciones sobre el tablero del puente, otras dos bajo el tablero del puente y una sobre una esquina superior del modelado.

Todas las imágenes del renderizado han sido obtenidas en la mejor calidad posible que ofrece Autocad. Para tener dicha calidad el renderizado ha sido seleccionado a modo de presentación con una imagen tamaño 1024x768 píxeles (ver Ilustraciones 118, 119, 120, 121 y 122).

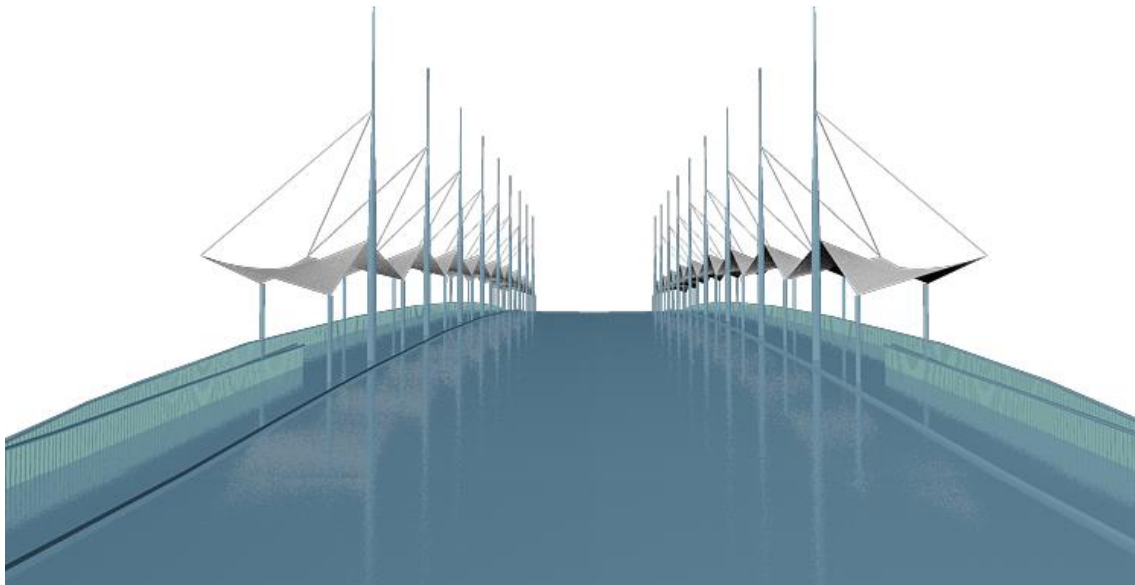


Ilustración 118. Renderizado del modelo desde la Cámara (1) situada sobre el tablero.

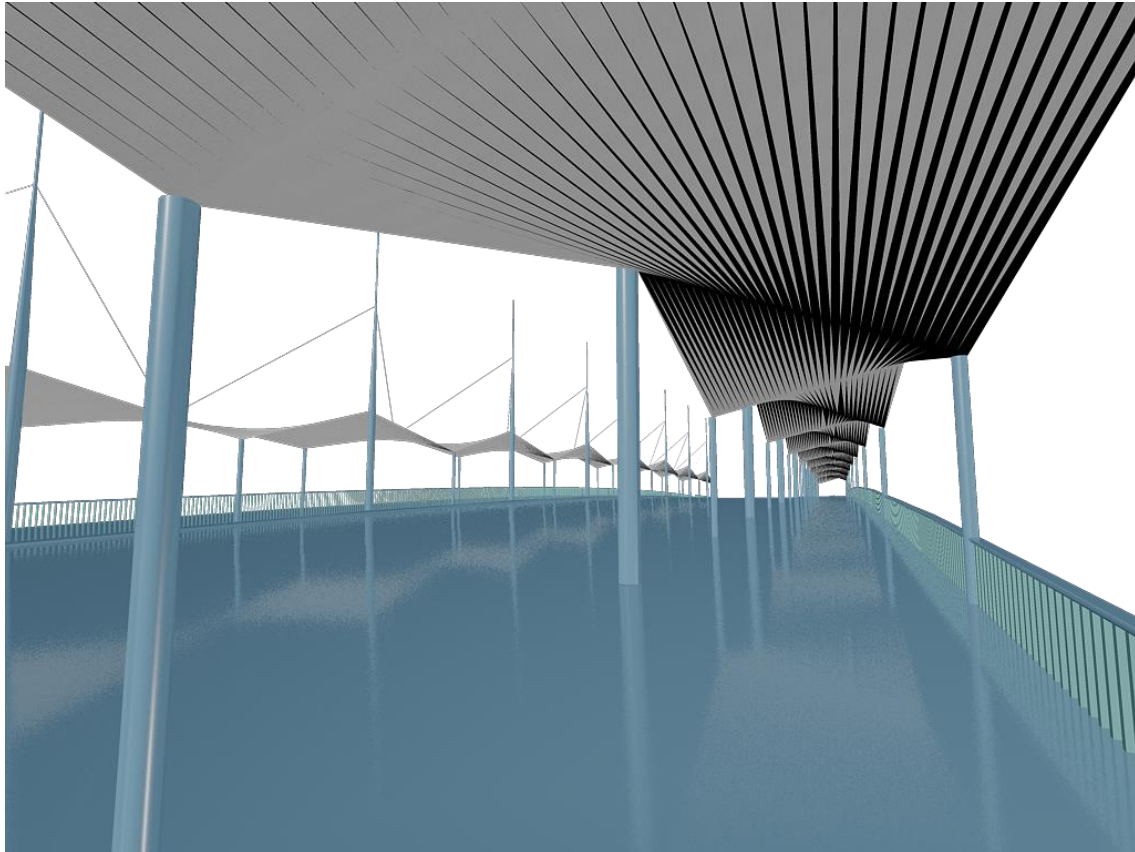


Ilustración 119. Renderizado del modelo desde la Cámara (2) situada sobre el acerado lateral del tablero.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

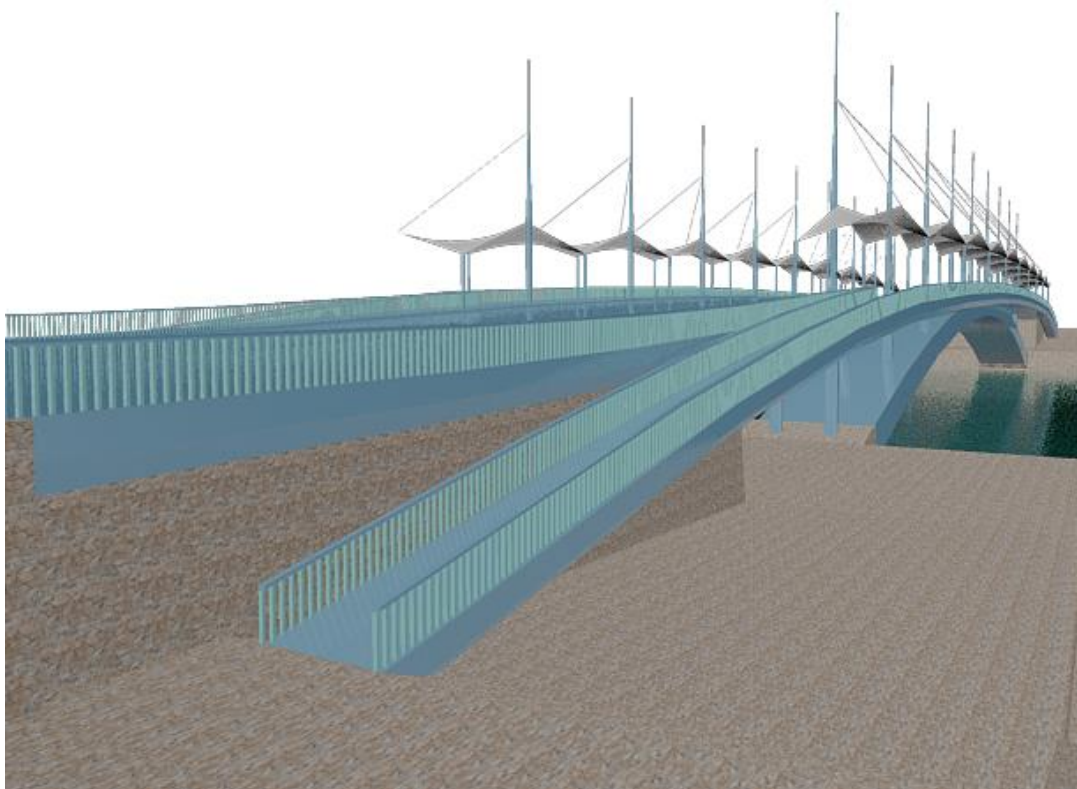


Ilustración 120. Renderizado del modelo desde la Cámara (3) situada sobre una esquina superior del modelado.

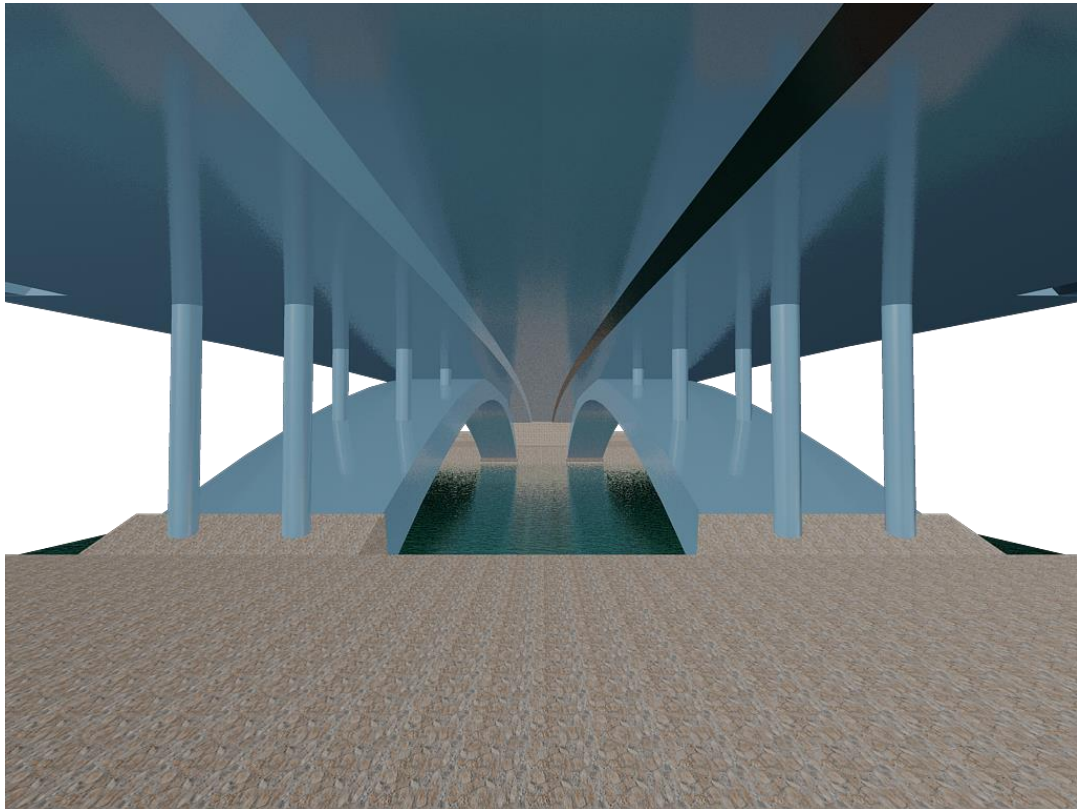


Ilustración 121. Renderizado del modelo desde el punto de vista Cámara (4) situada bajo el tablero.

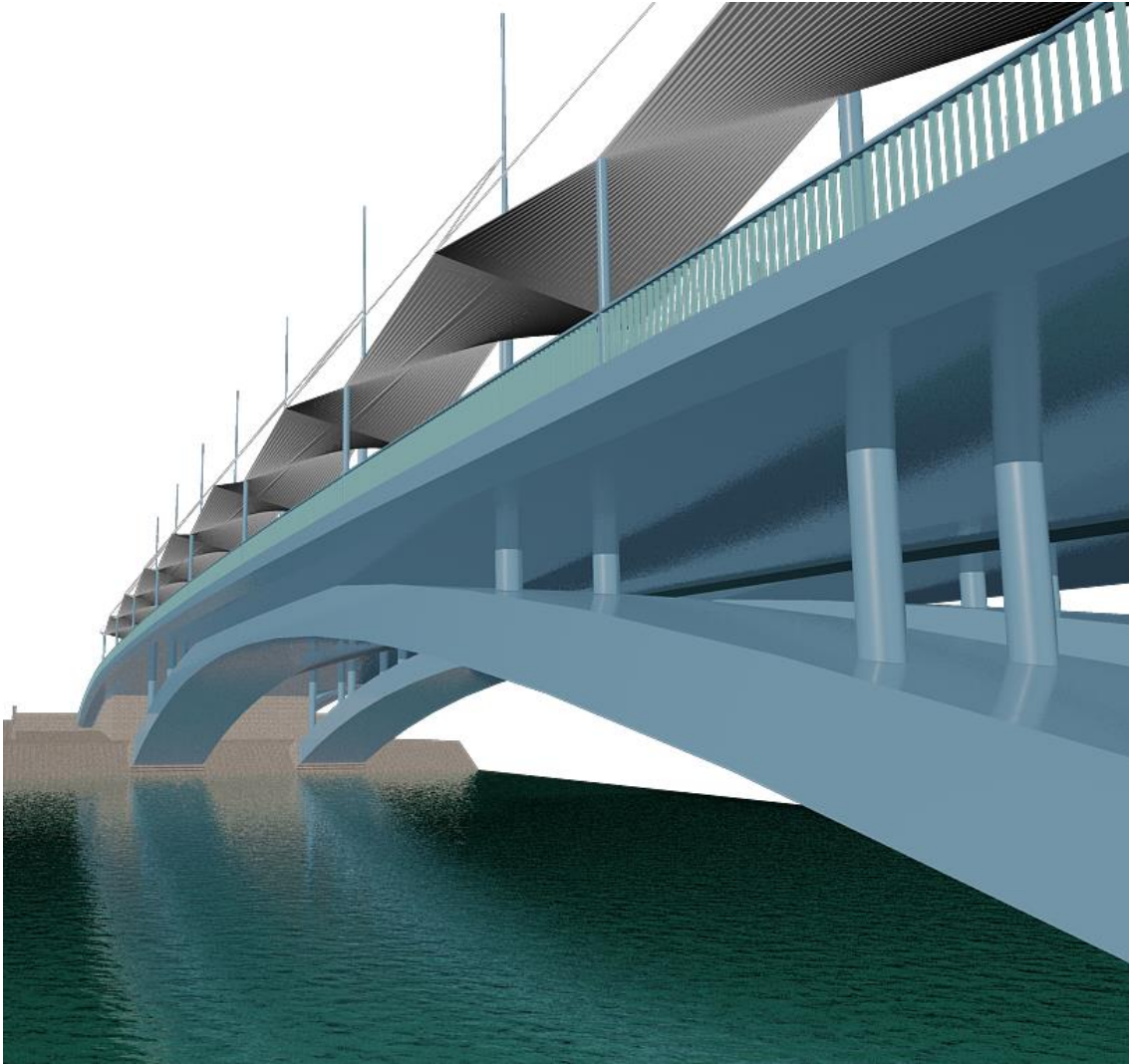


Ilustración 122. Renderizado del modelo desde el punto de vista Cámara (5) situada a un lateral bajo el tablero.

4 Conclusiones.

Exceptuando ciertas asignaturas del Grado, no se aplica un programa tan básico en el ámbito de ingeniería como es Autocad. Decidir optar por este camino ya que considero que el uso de este programa a alto nivel es básico de puertas al ámbito profesional.

En primer lugar cabe destacar el proceso de búsqueda de información previa al modelado. En lo que respecta al resultado de la búsqueda, la información recopilada está compuesta por planos del proyecto básico original y fotografías inéditas del proceso de fabricación y montaje del puente. Esta información es sumamente valiosa y difícilmente localizable en las fuentes bibliográficas de uso a día de hoy.

En segundo lugar, frente a la materia aprendida durante el paso de asignaturas en el Grado de Ingeniería Civil, este trabajo ha supuesto un aprendizaje nuevo añadido. En el Grado he resuelto casos teóricos en su mayoría, aquí se ve un caso real de modificación urbanística a causa de una obra civil y todo lo que conllevó para la ciudad de Sevilla. Comprendí la importancia de la presencia del río en la ciudad y cómo la alteración del mismo ha modificado el aspecto de Sevilla a lo largo de los años y, particularmente, el caso del desaterramiento que conllevó el entorno urbano actual de Sevilla.

Se ha analizado un caso real de ejecución de un puente, este análisis ha supuesto el razonamiento y la comprensión de los motivos de ejecución de la obra, la selección de materiales, su diseño, etc. Tanto la lectura como la comprensión de la información encontrada sobre el puente sumado a la realización de los distintos planos y el modelo 3D ha supuesto tener conocimientos del proceso de construcción del puente a un nivel de detalle mucho más específicos que simplemente los que pueden obtenerse mediante la lectura de la información encontrada.

Mediante el análisis de la información compilada para el trabajo y la ejecución del mismo he adquirido conocimientos respecto a la construcción de puentes. He comprendido la necesidad que existe de resolver los distintos y continuos problemas que aparecen durante el diseño y la ejecución del puente en función de la tipología de puentes, las diferentes alternativas, las condiciones del terreno, las necesidades a cumplir y la estética del mismo.

En el caso, la estética del puente tuvo una relevancia especial en el diseño del puente. Tanto fue así que los elementos no estructurales como los cubreaceras, compuesto por lonas de fibra poliuretano y PVC formando paraboloides hiperólicos, son los elementos decorativos más importantes que otorgan un aspecto único a la imagen del puente.

En tercer lugar, respecto al proceso de modelado en Autocad, es la primera vez que trabajo en Autocad 3D por lo que he de valorar el programa en relación al caso realizado. Tengo que destacar que el uso de Autocad 3D me ha parecido muy intuitivo para generar sólidos y trabajar con ellos mediante la edición. Aunque para no cometer continuos errores de trabajo me ha sido necesario cambiar de puntos de vista variando constantemente entre vista frontal, vista desde el lateral izquierdo, vista superior y vista isométrica.

En cuanto a la creación de sólidos del modelo 3D, para poder construir el puente han sido utilizados varias funciones de Autocad como el barrido, la matriz de camino, la malla reglada, entre otras, en la mayoría de los casos satisfactorios para el trabajo. Pero es necesario resaltar la presencia de ciertos contratiempos sufridos durante el proceso de modelado. Tales como aumentar el número de caras en la función de malla reglada o alinear los elementos de la matriz de camino hacia una misma dirección, opciones que dentro de la vista de “Dibujo y Anotación” de Autocad no aparecen a simple vista.

Otro ejemplo de uno de los contratiempos está relacionado con las herramientas de edición de sólidos, como la intersección o diferencia, éstas han sido utilizadas durante todo el transcurso del modelado del puente en 3D, en la mayoría de los casos sin problemas. Sin embargo, en algunos casos el proceso de edición de sólidos ha supuesto varios quebraderos de cabeza debido a los continuos errores ante los intentos de unificación como un solo sólido de los distintos tramos de puente y sus divisiones. Al realizar la búsqueda de soluciones por internet para solventar la imposibilidad unificar el puente y poder continuar con el modelado encontré razón alguna por la cual me surgía ese problema aunque sí encontré una solución efectiva. La solución llevada a cabo consistió en mover verticalmente un sólido respecto a otro una distancia de un milímetro, sólo un milímetro para que dicha variación no fuera notable.

Cabe destacar que no se ha optimizado aún más el renderizado del modelo puesto que el dispositivo con el cual se ha elaborado todo el trabajo, memoria y modelado 3D, presenta ciertas limitaciones en sus capacidades operativas. En concreto se ha utilizado la versión de Autocad 2013 al no poder recurrir a una versión más reciente por falta de fluidez del programa en el dispositivo. Aun utilizando esta versión del programa el proceso de renderizado llegaba a superar los once minutos de duración para la obtención de una sola imagen. A pesar de ello, la función de renderizado me ha resultado una de las herramientas más útiles de Autocad pues considero que su correcto uso en el ámbito profesional es completamente necesario.

Por último, considero que parte de los problemas aquí nombrados puede tener su origen en dos factores decisivos, la versión del programa utilizado y mi experiencia en él. El uso de la versión más actualizada del programa hubiera conllevado una disminución errores y una mejora de sus herramientas hacia un sistema más cómodo para el usuario. Una mayor experiencia por mi parte hubiera disminuido los errores y también ahorrado de tiempo al tener que corregir cada uno de los errores cometidos.

5 Índice de figuras y fotografías.

<i>Ilustración 1. Vista aérea de la ciudad de Sevilla en 1956.....</i>	<i>1</i>
<i>Ilustración 2. Vista de las calles de Sevilla ante las avenidas.</i>	<i>2</i>
<i>Ilustración 3. Vista de las calles de Sevilla cruzadas por embarcaciones ante las avenidas.....</i>	<i>2</i>
<i>Ilustración 4. Evolución histórica de las Cortas por la zona de Chapina en Sevilla.</i>	<i>3</i>
<i>Ilustración 5. Vista superior del río Guadalquivir desbordado a su paso por Sevilla.....</i>	<i>3</i>
<i>Ilustración 6. Representación del primer puente hecho por la unión de barcas.</i>	<i>4</i>
<i>Ilustración 7. Vista real del puente realizado por la unión de barcas.</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 8. Vista del puente de Triana en sus inicios.....</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 9. Plano del año 1870 en el que se representan las Instalaciones ferroviarias existentes.....</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 10. Plano del año 1930 en el que se representan las Instalaciones ferroviarias existentes.</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 11. Vista superior de la ubicación del inicio del tapón de Chapina.</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 12. Imagen del procedimiento del cierre de Chapina.....</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 13. Imagen en la que se aprecia el paso del agua a través de una sección estrecha debido a la corriente producida por las mareas.</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 14. Representación de la intervención prevista de hundimiento de embarcaciones para finalizar el cierre.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 15. Primera imagen de las grandes embarcaciones antes de ser hundidas.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 16. Segunda imagen de las grandes embarcaciones antes de ser hundidas.</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 17. Imagen de las últimas y más pequeñas embarcaciones en ser hundidas para finalizar el aterramiento.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 18. Vista de la zona de Chapina poco tiempo después de su cierre desde una posición aérea al sureste de la obra.....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 19. Vista superior de la Isla de la Cartuja a fecha de enero de 1990 donde se puede apreciar el tapón de Chapina a la derecha de la imagen.</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 20. Plano en planta de la vista general de la Expo 92 de abril de 1990.....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 21. Vista aérea de la ciudad de Sevilla en 1989.</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 22. Vista aérea de la situación y estado de la Isla de la Cartuja en relación al tapón de Chapina y la ciudad de Sevilla en 1989.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 23. Vista aérea del estado del tapón de Chapina en la que se aprecia las edificaciones instaladas en la zona.</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 24. Vista general de la maqueta completa de la Expo 92 en la Isla de la Cartuja.</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 25. Vista de la maqueta en la que se aprecia el nuevo puente del Cristo de la Expiración y la inexistencia del tapón de Chapina.</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 26. Representación de la situación de los puentes de la ciudad de Sevilla a fecha de 2013. ...</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 27. Mapa actual del contexto de parte de la dársena a su paso por Sevilla.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 28. Emplazamiento del Puente del Cristo de la Expiración junto a la referencia de la Estación de Sevilla-Plaza de Armas.</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 29. Boceto inicial del arco que formaría parte del nuevo puente en comparación con el puente de Isabel II de Sevilla.</i>	<i>19</i>

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

<i>Ilustración 30. Boceto inicial del puente del Cristo de la Expiración.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 31. Bocetos de las distintas ideas sobre los quiebros de las aceras laterales del puente.</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 32. Boceto que muestra el tipo de quiebro de acera definitivo para el puente.</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 33. Boceto inicial del puente del Cristo de la Expiración con la particularidad de las aceras añadidas.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 34. Boceto inicial del puente del Cristo de la Expiración con las particularidades de las aceras y el cubreaceras añadidas.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 35. Boceto del recorrido del río por Sevilla tras construirse el puente del Cristo de la Expiración y haberse retirado el Tapón de Chapina.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 36. Boceto del puente del Cristo de la Expiración sobre el río desde una vista frontal.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 37. Boceto del puente en interacción con la ciudad y su población.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 38. Boceto de la vista inferior del puente desde el paseo a las orillas del río.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 39. Boceto de las cargas horizontales interactuando entre la estructura de arcos y los cimientos del puente.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 40. Boceto de la sección transversal donde se aprecia los conductos de servicios en el interior de los arcos del puente.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 41. Vista lateral del Puente de Alejandro III de París.</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 42. Vista frontal del Puente de Alejandro III en la que se aprecia las embarcaciones que pasan por el río.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 43. Vista aérea del tapón de Chapina en su situación previa a la ejecución de la obra del puente y desaterramiento.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 44. Imagen de las cimentaciones realizada durante sus ejecuciones en la que se aprecia las pantallas y el recinto interior.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 45. Imagen del montaje de los arcos del puente en taller.</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 46. Vista lejana de la ejecución del puente durante la tarea de montaje de los arcos en obra.</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 47. Vista cercana de la ejecución del puente durante la tarea de montaje de los arcos en obra.</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 48. Imagen de la tarea de unión de los arcos con los estribos laterales.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 49. Primera vista de la estructura de arcos desde las el terreno que formaría las orillas del río.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 50. Segunda vista de la estructura de arcos desde las el terreno que formaría las orillas del río.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 51. Tercera vista de la estructura de arcos desde las el terreno que formaría las orillas del río.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 52. Cuarta vista de la estructura de arcos desde las el terreno que formaría las orillas del río.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 53. Vista aérea de la tarea de colocación del cubreaceras.</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 54. Vista en primera persona de la tarea de colocación del cubreaceras.</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 55. Vista lateral del puente durante la tarea de pintura.</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 56. Vista aérea del puente del Cristo de la Expiración tras su apertura y el desaterramiento del tapón de Chapina.</i>	<i>35</i>

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

<i>Ilustración 57. Vista en primera persona de los detalles estéticos instalados la Expo 92.....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 58. Vista del puente desde las orillas peatonales del río.</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 59. Vista del puente del Cristo de la Expiración previa a la Expo 92.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 60. Vista actual del puente del Cristo de la Expiración.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 61. Vista actual de la relación entre el puente del Cristo de la Expiración, la dársena y Triana.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 62. Vista del puente del Cristo de la Expiración y la Torre Sevilla tras la otra orilla de la dársena.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 63. Vista actual de la unión arco - estribo.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 64. Vista actual del puente desde su paso peatonal inferior.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 65. Vista aérea de la Isla de la Cartuja previa a la Expo 92.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 66. Vista aérea actual de la Isla de la Cartuja.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 67. Vista aérea de la zona de Plaza de armas previa a la Expo 92.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 68. Vista aérea actual de la zona de Plaza de armas.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 69. Vista aérea de la zona de Santa Justa previa a la Expo 92.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 70. Vista aérea actual de la zona de Santa Justa.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 71. Vista aérea de la calle Torneo previa a la Expo 92.</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 72. Vista aérea actual de la calle Torneo.</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 73. Vista de los planos longitudinal y en planta encontrados.</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 74. Vista de los planos transversales encontrados.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 75. Vista general de todas las representaciones virtuales del trabajo.</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 76. Vista de la representación virtual en planta del puente con cotas e información constructiva.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 77. Vista de la representación virtual longitudinal del puente con cotas e información constructiva.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 78. Vista de las representaciones virtuales transversales del puente con cotas e información constructiva.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 79. Vista del espacio 3D creado para la proyección de representaciones 2D.</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 80. Figuras en 2D de la lámina de agua en azul y la superficie lateral e inferior inicial del terreno en blanco.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 81. Figuras en 2D de que serán utilizadas con la de modificar el sólido de la superficie del terreno inicial.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 82. Figura en 2D de la sección transversal de tablero correspondiente a la parte central del puente donde no están divididas las aceras.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 83. Figura en 2D de la sección transversal del tablero correspondiente a las partes laterales del puente donde sí están divididas las aceras.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 84. Figura en 2D de la sección transversal de las aceras correspondientes a las partes laterales del puente donde sí están divididas las aceras.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 85. Figura en 2D de las secciones transversales para crear los arcos estructurales del puente.</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 86. Vista isométrica de la lámina de agua y la plataforma inicial del modelado 3D.</i>	<i>47</i>

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

<i>Ilustración 87. Vista isométrica de la lámina de agua y la plataforma tras editar el sólido del modelado 3D.</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 88. Vista isométrica en detalle de la plataforma tras editar el sólido del modelado 3D.</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 89. Vista de la primera parte superior del puente en relación a la lámina de agua y el terreno.</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 90. Vista de la segunda parte superior del puente en relación a la lámina de agua y el terreno. Esta parte sólo se extiende por la zona central del puente donde las aceras no están divididas.</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 91. Vista de la segunda parte superior del puente en relación a la lámina de agua y el terreno. Esta parte sólo se extiende por la zona lateral del puente donde las aceras si están divididas.</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 92. Vista de la parte inferior del puente en relación a la lámina de agua y el terreno. Esta parte se corresponde con los arcos estructurales del puente.</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 93. Vista isométrica general del modelo 3D final del terreno y la lámina de agua.</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 94. Vista isométrica del detalle del modelo 3D final del terreno.</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 95. Vista del modelo 3D final del terreno en relación a la lámina de agua y el primer tramo de puente realizado.</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 96. Primera vista del modelo 3D inicial del puente, la lámina de agua y el terreno.</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 97. Segunda vista del modelo 3D inicial del puente, la lámina de agua y el terreno.</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 98. Tercera vista del modelo 3D inicial del puente, la lámina de agua y el terreno.</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 99. Vista del modelo 3D de los elementos de unión entre los arcos del puente y el terreno.</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 100. Vista del modelo 3D de los elementos de unión y el puente.</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 101. Vista frontal del lateral del puente en el que se muestra el conjunto del puente y la unión de sus arcos con el terreno.</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 102. Vista de la sección transversal de la parte superior de las barandillas correspondiente al reposamanos.</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 103. Vista del modelo 3D de los elementos que forman la parte inferior de las barandillas.</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 104. Vista isométrica general de las barandillas sobre el puente.</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 105. Vista isométrica del detalle de las barandillas en el punto de separación del acerado.</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 106. Vista isométrica del detalle de la unión del acerado del puente con el terreno.</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 107. Vista frontal de la parte inferior de los mástiles sobre los arcos del puente.</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 108. Vista oblicua de la parte inferior de los mástiles sobre los arcos del puente.</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 109. Vista del modelo de la parte superior del mástil común con dimensiones utilizadas.</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 110. Vista frontal del puente con su serie de mástiles.</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 111. Vista oblicua del puente con sus mástiles.</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 112. Visión espacial del puente obtenida mediante Google Maps con su opción 3D.</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 113. Imagen parcial de un plano transversal del puente en el que aparece un mástil y el cubreaceras.</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 114. Vista isométrica del proceso del modelado del cubreaceras.</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 115. Vista isométrica del modelado del cubreaceras.</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 116. Vista del modelo 3D completo del puente donde se incluye el cubreaceras.</i>	<i>58</i>

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

<i>Ilustración 117. Vista isométrica del posicionamiento de las cinco cámaras sobre el modelado del puente.</i>	58
<i>Ilustración 118. Renderizado del modelo desde la Cámara (1) situada sobre el tablero.</i>	59
<i>Ilustración 119. Renderizado del modelo desde la Cámara (2) situada sobre el acerado lateral del tablero.</i>	60
<i>Ilustración 120. Renderizado del modelo desde la Cámara (3) situada sobre una esquina superior del modelado.</i>	61
<i>Ilustración 121. Renderizado del modelo desde el punto de vista Cámara (4) situada bajo el tablero.</i>	61
<i>Ilustración 122. Renderizado del modelo desde el punto de vista Cámara (5) situada a un lateral bajo el tablero.</i>	62

6 Índice de tablas.

<i>Tabla 1. Datos técnicos del proyecto.....</i>	<i>27</i>
--	-----------

7 Lista de planos.

Número	Nombre	Escala
01	Emplazamiento	1:2500
02	Vista Isométrica 3D	1:500
03	Vista 3D con Cortes	1:500
04	Perfil Longitudinal y en Planta	1:500
05	Sección Transversal A-A'	1:100
06	Sección Transversal B-B'	1:100
07	Sección Transversal C-C'	1:100

8 Bibliografía y fuentes consultadas.

- [1] AYESA, «III Premio Internacional Puente de Alcántara,» Sevilla, 1992. Consultado en Noviembre de 2017.
- [2] Canal Sur. Los Reporteros. Nº 89, «Puentes sobre el Guadalquivir para la Sevilla de la Expo 92,» 22 de Diciembre de 1991. Disponible online en: https://www.youtube.com/watch?v=_52DP6NMQKM (consultado el 20 de Diciembre de 2017).
- [3] Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, «La obra favorita de José Luis Manzanares Japón,» Diciembre de 2007. Disponible online en: <http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Ingenier%C3%ADa-Humanismo/Obra%20JoseLuisManzanares.pdf> (consultado el 07 de Febrero de 2018).
- [4] Corral, J. Á., «El río Guadalquivir vuelve a abrirse gracias a la Expo 92. Asociación Legado Expo Sevilla,» 25 de Noviembre de 2013. Disponible online en: <http://www.legadoexposevilla.org/el-rio-guadalquivir-vuelve-a-abrirse-gracias-a-la-expo-92/> (consultado el 09 de Marzo de 2018).
- [5] Corral, J. Á., «El río Guadalquivir vuelve a abrirse gracias a la Expo 92. Asociación Legado Expo Sevilla,» 25 de Noviembre de 2013. Disponible online en: <http://www.legadoexposevilla.org/el-rio-guadalquivir-vuelve-a-abrirse-gracias-a-la-expo-92/> (consultado el 09 de Marzo de 2018).
- [6] Corral, J. Á., «Se presenta el proyecto del puente de Chapina. Asociación Legado Expo Sevilla,» 29 de Abril de 2013. Disponible online en: <http://www.legadoexposevilla.org/se-presenta-el-proyecto-del-puente-de-chapina/> (consultado el 09 de Marzo de 2018).
- [7] El foro Cofrade, «Obtenido de Fotos. El Ayer de Sevilla ! Página 40 ! El foro Cofrade,» 2 de Marzo de 2007. Disponible online en: <http://elforocofrade.es/index.php?threads/fotos-el-ayer-de-sevilla.4654/page-40> (consultado el 09 de Marzo de 2018).
- [8] Instituto de Estadística y Cartografía, «Base Cartográfica de Andalucía. Instituto de Estadística y Cartografía,» (s.f.). Disponible online en: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia./bcadescargas/> (consultado el 07 de Febrero de 2018).
- [9] Junta de Andalucía, «Expo 92, 1992. La transformación de una ciudad. Memodria gráfica de cómo se levantó la Expo 92,» (s.f.). Disponible online en: <http://www.juntadeandalucia.es/cultura/expo92/index.php> (consultado el 07 de Febrero de 2018).
- [10] Morales Padrón, M. P., «SEVILLA INSÓLITA,» 19 de Septiembre de 2014. Disponible online en: <http://sevilla-insolita.blogspot.com.es/2014/09/cinco-nombres-para-un-puente.html> (consultado el 07 de Febrero de 2018).
- [11] Palma, S., «Los barcos del Tapón de Chapina | Sevillanadas, Sevilla en Estampas,» 18 de Noviembre de 2012. Disponible online en: <http://sevillanadas.blogspot.com.es/2012/11/los-barcos-del-tapon-de-chapina.html>

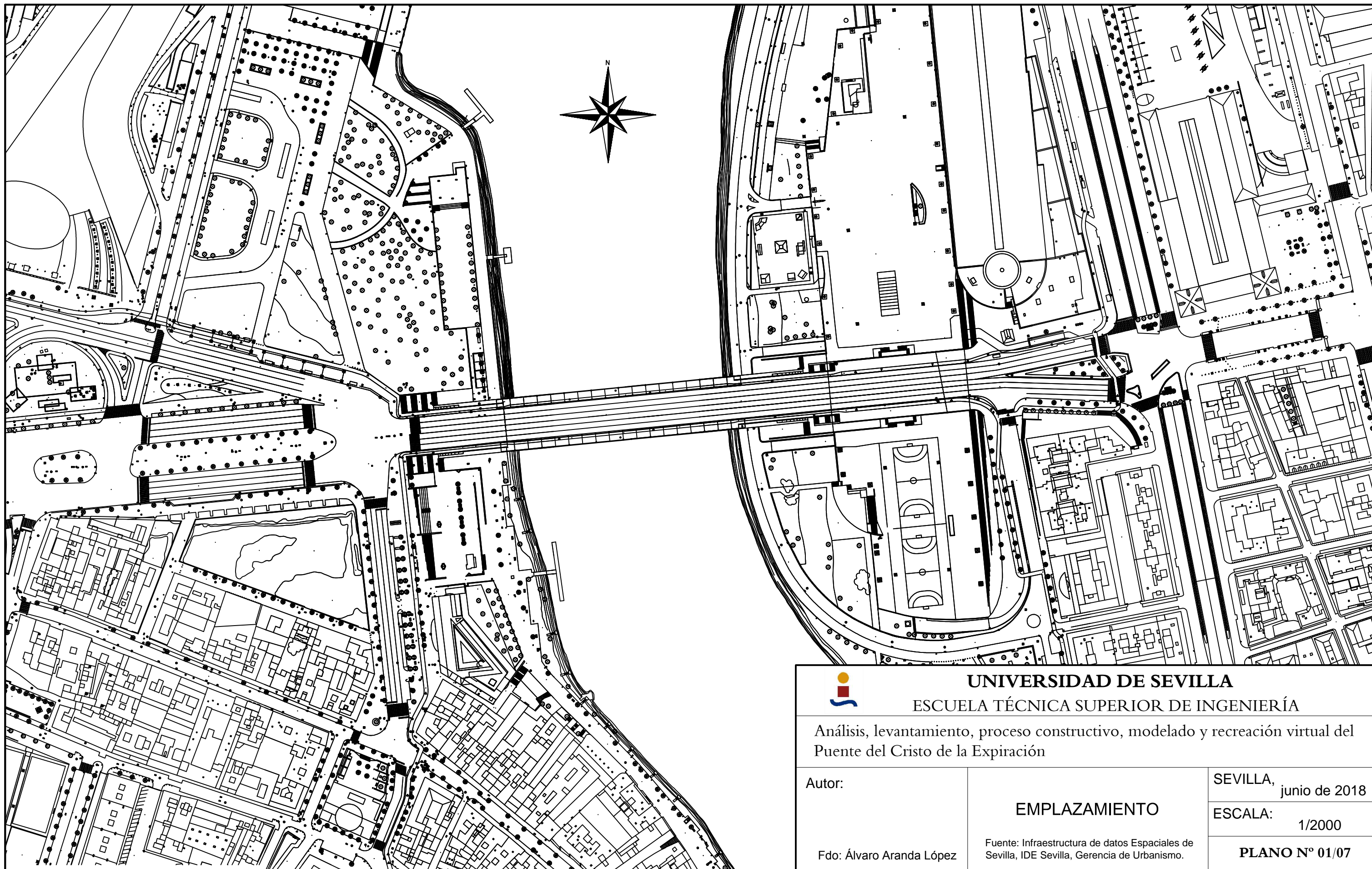
(consultado el 25 de Abril de 2018).

- [12] Penella, M. P., «Sevilla y el Guadalquivir,» 1999. Disponible online en: http://titulaciongeografia-sevilla.es/master/archivos/recursos/Sevilla_y_el_Guadalquivir.pdf (consultado el 07 de Febrero de 2018).
- [13] Revista de Obras Públicas, «EL PUENTE DEL CACHORRO Y EL DESATERRAMIENTO DE CHAPINA,» Julio de 1992. Disponible online en: http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_julio_3312_03.pdf (consultado el 20 de Diciembre de 2017).
- [14] Sánchez, J., «Así cambió Sevilla en el 92,» 20 de Abril de 2017. Disponible online en: http://www.diariodesevilla.es/sevilla/cambio-Sevilla_0_1128187841.html (consultado el 09 de Marzo de 2018).
- [15] Sáseta, A. y Pérez, J. L., «El impacto de la Expo'92,» 17 de Diciembre de 2011. Disponible online en: <http://puentesdesevilla.blogspot.com/2012/01/el-impacto-de-la-expo92.html> (consultado el 25 de Abril de 2018).
- [16] Sáseta, A. y Pérez, J. L., «Los puentes de Sevilla: Las "cortas" del Guadalquivir,» 20 de Diciembre de 2011. Disponible online en: <http://puentesdesevilla.blogspot.com.es/2012/01/las-cortas-del-guadalquivir.html> (consultado el 25 de Abril de 2018).
- [17] Universidad de Córdoba, «Visita a los puentes sobre el Guadalquivir en la ciudad de Sevilla con Ginés Aparicio,» (s.f.). Disponible online en: <https://www.youtube.com/watch?v=81z0Lg8aVsA> (consultado el 20 de Diciembre de 2017).
- [18] VVAA, «*Sevilla. Puentes del 92: San Lázaro-Camas, Barqueta, Cartuja, Chapina, Las Delicias, Centenario*» 1991. Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consultado en Noviembre de 2017.
- [19] Wikipedia, «Puentes de Sevilla,» 11 de Febrero de 2018. Disponible online en: https://es.wikipedia.org/wiki/Puentes_de_Sevilla (consultado el 25 de Abril de 2018).
- [20] Zapata, J. A., «Entrevista a D. José Luis Manzanares Japón - Estructurando,» 8 de Junio de 2015. Disponible online en: <http://estructurando.net/2015/06/08/entrevista-a-d-jose-luis-manzanares-japon/> (consultado el 07 de Febrero de 2018).

Todas las fotografías históricas no referenciadas de este documento han sido obtenidas mediante los documentos bibliográficos [1] y [18]. Las imágenes utilizadas en los puntos de modelado han sido obtenidas durante el proceso del mismo en AutoCad.

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración.

Planos



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del
Puente del Cristo de la Expiración

Autor:

EMPLAZAMIENTO

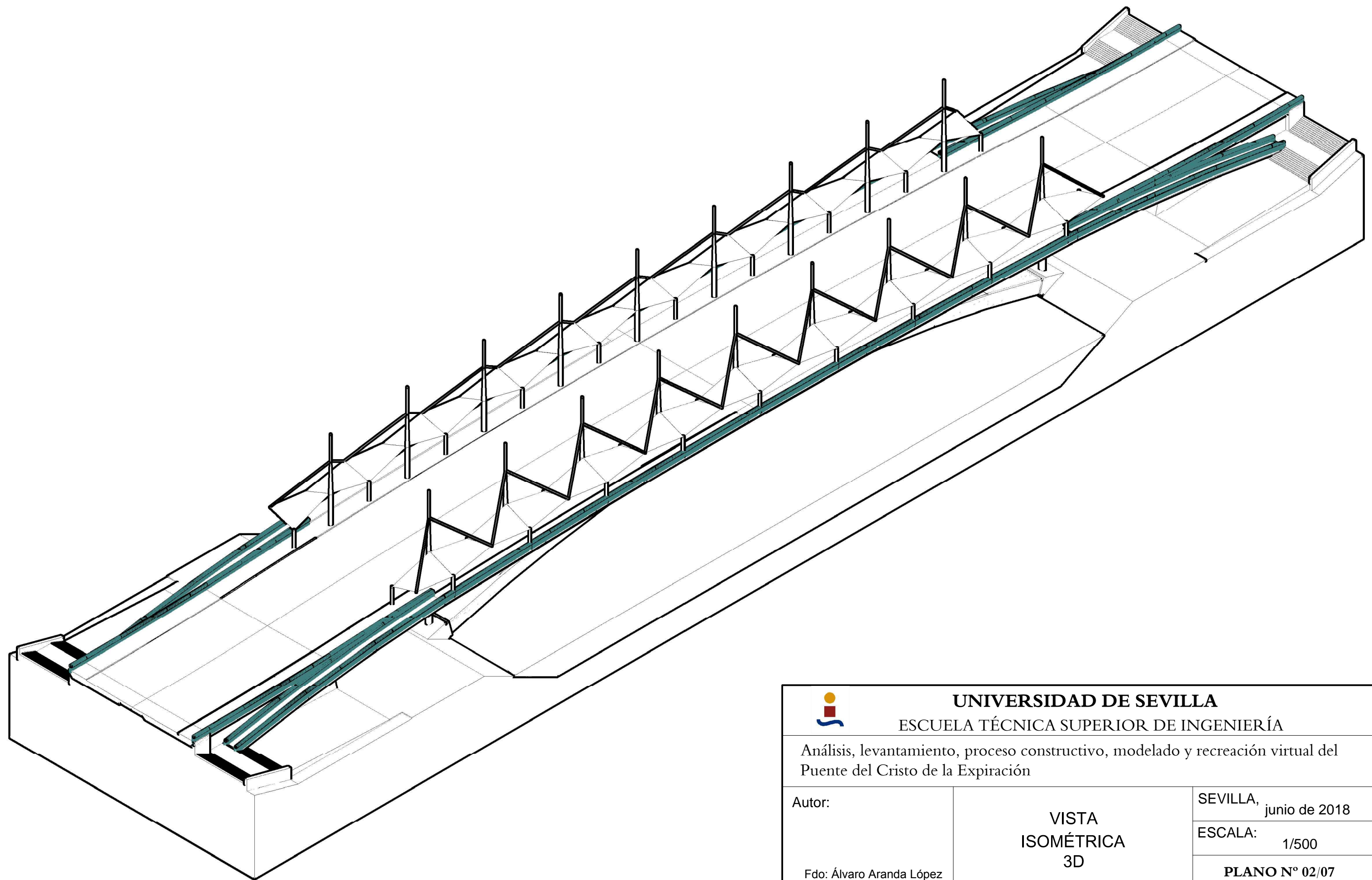
Fdo: Álvaro Aranda López

Fuente: Infraestructura de datos Espaciales de
Sevilla, IDE Sevilla, Gerencia de Urbanismo.

SEVILLA,
junio de 2018

ESCALA:
1/2000

PLANO N° 01/07



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del
Puente del Cristo de la Expiración

Autor:

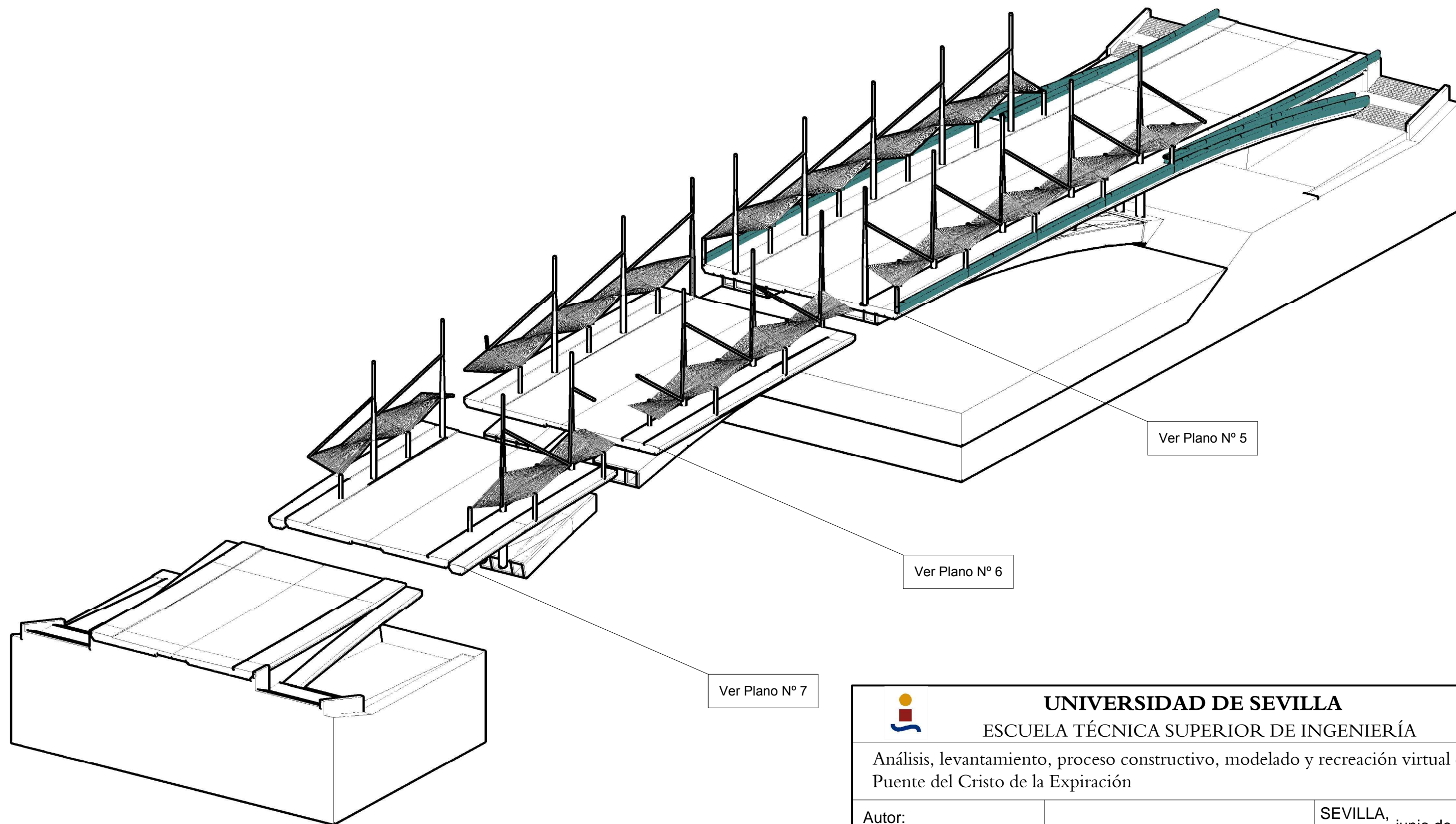
Fdo: Álvaro Aranda López

VISTA
ISOMÉTRICA
3D

SEVILLA, junio de 2018

ESCALA: 1/500

PLANO N° 02/07



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del
Puente del Cristo de la Expiración

Autor:

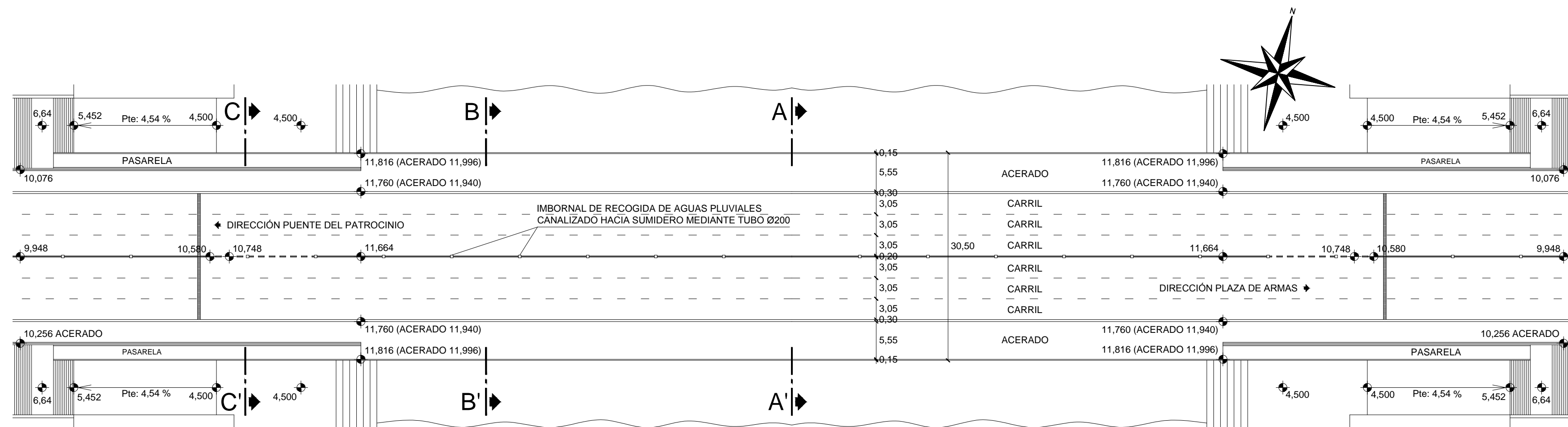
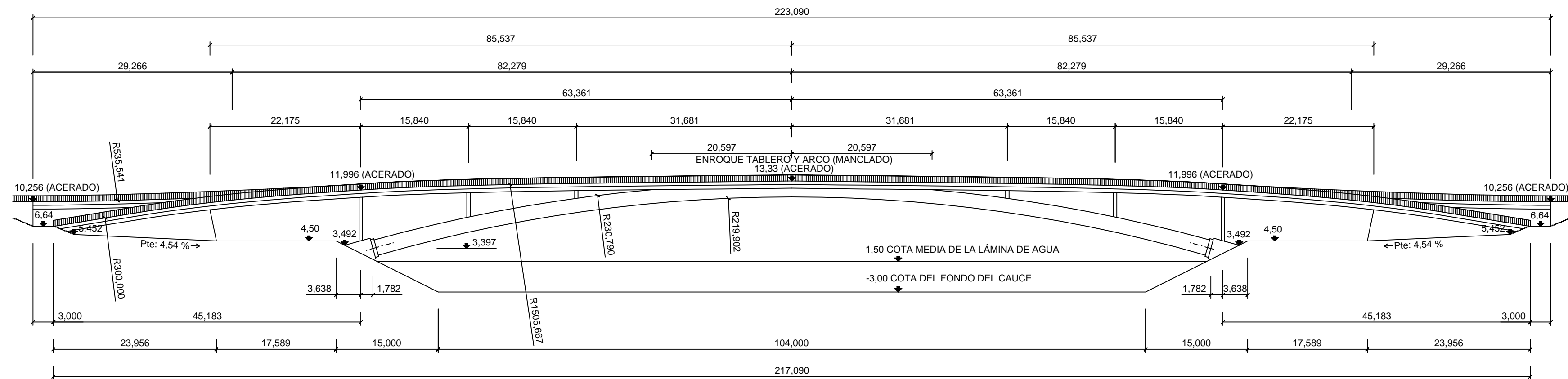
Fdo: Álvaro Aranda López

**VISTA 3D CON
CORTES**

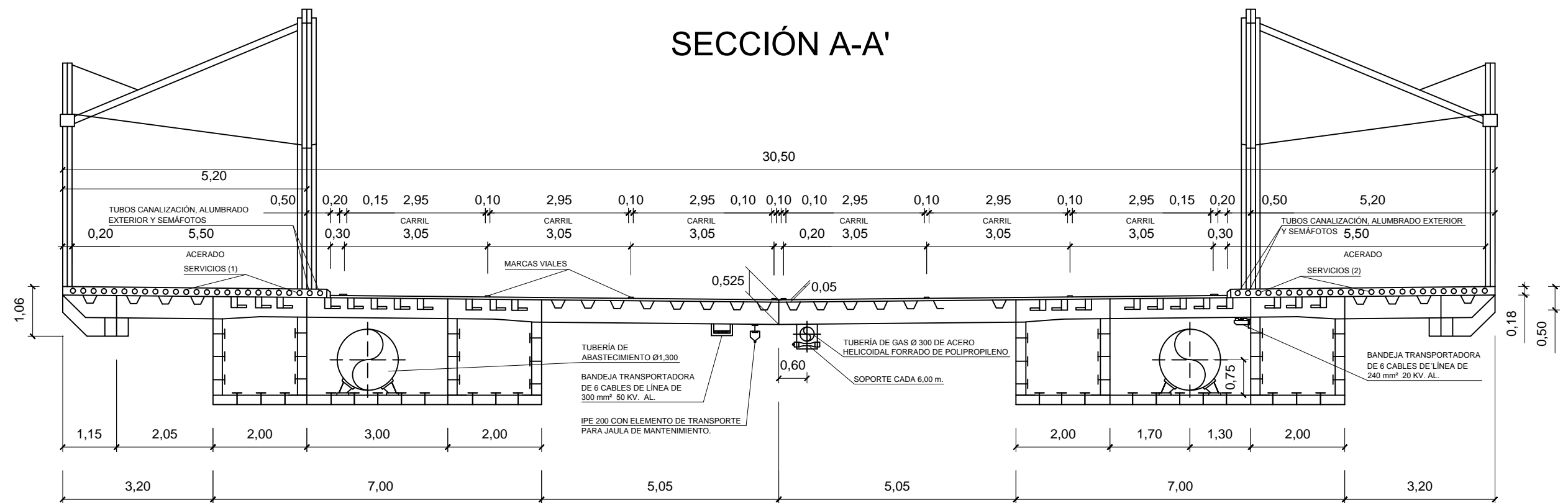
SEVILLA,
junio de 2018

ESCALA:
1/500

PLANO N° 03/07



 UNIVERSIDAD DE SEVILLA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA		
Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración		
Autor:	PERFIL LONGITUDINAL Y VISTA EN PLANTA	SEVILLA, junio de 2018
		ESCALA: 1/500
Fdo: Álvaro Aranda López		PLANO N° 04/07



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración

Autor:

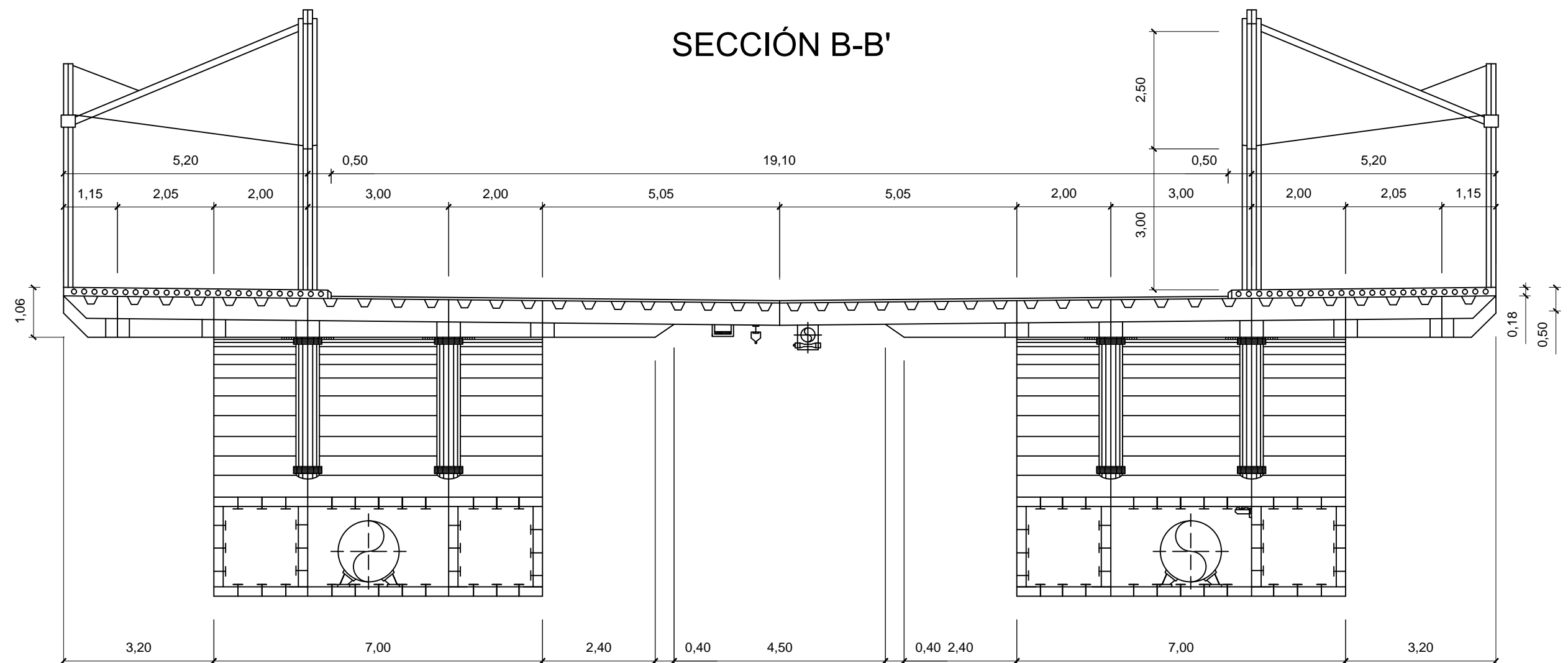
Fdo: Álvaro Aranda López

**SECCIÓN
TRANSVERSAL
A-A'**

SEVILLA, junio de 2018

ESCALA: 1/100

PLANO N° 05/07



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del
Puente del Cristo de la Expiración

Autor:

Fdo: Álvaro Aranda López

**SECCIÓN
TRANSVERSAL
B-B'**

SEVILLA, junio de 2018

ESCALA: 1/100

PLANO N° 06/07

Technical drawing of a bridge cross-section. The total width is 30,50. The drawing shows two main spans, each 12,75 wide. The bridge has a central pier and two side piers. The height of the bridge structure is 4,50. The drawing includes various dimensions for the bridge deck, piers, and abutments. The bridge deck has a width of 12,75 on each side of the central pier. The piers are 4,50 high. The abutments are 2,30 wide. The bridge has a 1% slope on each side of the central pier. The drawing includes various details of the bridge structure, such as the deck, piers, and abutments.

**PLANO N° 07/07**